



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 141585

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SILINDER PENGANGGU TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SAVONIUS

"Studi kasus untuk Variasi Rasio $S/D = 0,12$; $d/D = 0,2$; $y/D = 0, 0,25, 0,5$; Bilangan Reynolds : 97000, 145000 dan 178000"

AMMAR ZULHAN
NRP 02111440000122

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TM 141585

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SILINDER PENGANGGU TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SAVONIUS

“Studi kasus untuk Variasi Rasio $S/D = 0,12$; $d/D = 0,2$; $y/D = 0, 0,25, 0,5$; Bilangan Reynolds : 97000, 145000 dan 178000”

AMMAR ZULHAN
NRP 02111440000122

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TM 141585

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF CYLINDRICAL OBSTACLE'S TO THE SAVONIUS TURBINE'S PERFORMANCE

"Study Case For The Variation $S/D = 1,2$; $d/D = 0,2$ $y/D = 0, 0,25, 0,5$
; *Reynolds Number* : 97000, 145000 dan 178000"

AMMAR ZULHAN
NRP 02111440000122

Supervisor
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SILINDER
PENGANGGU TERHADAP PERFORMA TURBIN
ANGIN SAVONIUS**

“Studi Kasus untuk Pembanding $d/D = 0,2$; $S/D = 1,2$; $y/D = 0, 0,25$ dan $0,5$; Bilangan Reynolds = 97000, 145000 dan 178000”

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AMMAR ZULHAN
NRP. 02111440000122

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA (Pembimbing)
NIP. 196001291987011001
2. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD. (Penguji I)
NIP. 196412281990031002
3. Dr. Ir. Heru Mirmanto. (Penguji II)
NIP. 196202161995121001
4. Nur Ikhwan, ST, M.Eng. (Penguji III)
NIP. 196709151995121001

SURABAYA

JULI, 2018

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SILINDER PENGANGGU TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SAVONIUS

“Studi Kasus untuk Pembanding $d/D = 0,2$; $S/D = 1,2$; $y/D = 0,0,25$ dan $0,5$; Bilangan Reynolds: 97000, 145000 dan 178000”

Nama Mahasiswa : Ammar Zulhan
NRP : 02111440000122
Jurusan : Teknik Mesin ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Ir. Triyogi Yuwono. DEA.
Abstrak

Kebutuhan energi listrik indonesia semakin meningkat. 90% pembangkit listrik di Indonesia masih menggunakan fossil fuel. Diperlukan energi alternatif lainnya, salah satunya adalah energy angin. Turbin angin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin VAWT (vertical axis wind turbine). Kemampuan Self Starting turbin Savonius cocok digunakan di daerah perkotaan dimana kecepatan anginnya kurang dari 10 m/s. Daya yang dihasilkan oleh turbin dikarenakan perbedaan besar torsi pada returning blade dan advancing blade. Tetapi efisiensi turbin ini masih rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan performa turbin dengan menambahkan penghalang didepan returning blade berbentuk silinder.

Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan variasi letak silinder penghalang tegak lurus terhadap arah datangnya angin dengan diameter sudu (y/D) dan variasi bilangan Reynolds. Variasi (y/D) yaitu 0, 0,25, 0,5 dan variasi Reynolds number 97000, 145000 dan 178000. Tahap dalam melakukan penelitian ini adalah pertama, memasang alat dan melakukan setting alat. Lalu mengambil data temperatur. Setelah itu nyalakan blower dan set kecepatan hingga Reynolds Number 97000. Kemudian mengambil data torsi dinamis dan torsi statis. Mencatat hasil dan ulangi percobaan hingga Reynolds Number 178000. Setelah pengambilan data, blower dimatikan dan menambahkan penghalang silinder sirkular pada y/D sama dengan 0 lalu lakukan pengambilan data dengan tahapan sama

dengan tanpa penghalang. Tahap pengambilan data di ulang pada posisi penghalang y/D 0,25 dan 0,5

Dari hasil eksperimen didapatkan performa turbing angin Savonius tanpa menggunakan penghalang memiliki Coefficient of Power maximum pada bilangan Reynolds 97000 sebesar 15,6 %, pada bilangan Reynolds 145000 mempunyai Coefficient of Power sebesar 13,3% dan pada bilangan Reynolds 178000 mempunyai nilai Coefficient of Power sebesar 8,5 %. Jika ditambahkan Silinder pengganggu didepan returning blade Coefficient of Power mengalami kenaikan. Penambahan silinder pengganggu paling efektif diletakkan pada posisi y/D 0,5. Pada bilangan Reynolds 97000 terjadi kenaikan sebesar 1,3% dari nilai tanpa penghalang, pada bilangan Reynolds 145000 terjadi kenaikan sebesar 12% sedangkan pada bilangan Reynolds 178000 terjadi kenaikan sebesar 6,8% dari nilai Coefficient of Power tanpa penghalang.

Kata Kunci: *Savonius, Turbin angin, Coefficient of Power, Ratio y/D*

EXPERIMENTAL STUDI OF THE AFFECT OF CYLINDRICAL OBSTACLE ON SAVONIUS WIND TURBINE PERFORMANCE.

“ case studi for consideration $d/D = 0,2$; $S/D = 1,2$; $y/D = 0; 0,25; 0,5$; Reynolds Number = 97000, 145000 dan 178000

Student Name : Ammar Zulhan

NRP : 02111440000122

Departemen : Mechanical Engineering

Advisory Lecturer : Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono DEA.

Abstract

Indonesia electrical needs is on the rise. 90% of power plant in Indonesia still using fossil fuel. Alternative energy is needed, one of it is wind energy. Savonius wind turbine is one of many VAWT. Self starting capabilities of Savonius wind turbine is suitable to be use in city ural where the wind speed is less than 10 m/s. power that is generated by the turbine is because the difference in torque from returning blade and advancing blade. But the efisiensi of the turbine is still low. The purpose of this research is to increase the turbin performance by adding cylindrical obstacle in fornt of returning blade.

To achieve the purpose, the variation of this experiment is the location of obstacle perpendicular against the direction of incoming wind relative to blade diameter (y/D) and variation of Reynolds number. y/D variation are 0; 0,25; 0,5 and Reynolds number variation are 97000, 145000 and 178000. Stages for this experiment are: first, set the apparatus. Then record the temperature. After that turn on the blower and set the speed until it match the speed from Reynolds number 97000. After that take record of dynamic torque and static torque. Take note and repeat until the Reynolds number 178000. After data retrieval the blower is shut down and added the obstacle on position $y/D = 0$ then data retrieval is done using the same stage as without obstacle.

The result experiment show that the performace of Savonius wind turbine without obstacle have maximum Coefficient

of Power 15,6% at Reynolds number = 97000, 13,3% at Reynolds number = 145000 and 8,5% at Reynolds number = 178000. If the cylindrical obstacle is added infornt of Returning blade the coefficient of power is increased. The most effective position is at $y/D = 0,5$. Where at this position, compared to the conventional Savonius wind turbine, the coefficient of power of turbine with the cylindrical obstacle measured of 1,3%, 12% and 6,8% for Reynolds number = 97000, 145000 and 178000

Keyword : wind turbine , Coefficient of power, Ratio y/D ,

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya laporan tugas akhir dengan judul STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SILINDER PENGGANGGU TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SAVONIUS. Tugas akhir merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa S1 jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, sesuai dengan kurikulum yang telah ditetapkan. Banyak pihak yang telah membantu sampai selesainya Laporan Tugas Akhir ini, oleh karena itu pada kesempatan ini kami sampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan junjungan besar kami, Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan petunjuk dan kekuatan dalam menghadapi segala cobaan serta rintangan
2. Bapak Ir. Bambang Pramujati MSc.Eng.,Dr.,prof selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah memberikan bimbingan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak memberikan bimbingan dan nasihat kepada kami.
4. Bapak Sutrisno dari lab mekanika fluida yang telah membuat dan membantu dalam pengerjaan alat tugas akhir.
5. Ayah, Ibu, dan keluarga besar yang kami cintai atas doa dan dukungannya.
6. Kepada Ajrina Melynda yang selalu menemani dari awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan.
7. Seluruh kelompok tugas akhir d/D 0.2 yang menemani mengambil data hampir setiap malam.
8. Seluruh Rekan Tugas akhir bimbingan pak triyogi yang telah membantu dan berkoordinasi dalam mengambil data tugas akhir.

Kekurangan atau ketidak sempurnaan tentu masih ada, meskipun bukan suatu hal yang disengaja, Oleh karena itu kritik

dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan Tugas akhir ini.

Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis, pembaca, mahasiswa, dan khususnya masyarakat luas dan mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS

Jakarta, 24 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SIMBOL.....	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 BATASAN MASALAH	5
1.4 TUJUAN PENELITIAN	5
1.5 MAMFAAT PENELITIAN	6
BAB II	7
DASAR TEORI.....	7
2.1 Turbin Angin.....	7
2.1.1 Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)	8
2.1.2 <i>Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)</i>	9
2.2 Gaya Drag	12
2.3 <i>Reynolds Number</i>	13

2.4	<i>Coefficient of Power</i>	14
2.5	Aliran Fluida melewati Silinder Pejal	15
3.6	Tip Speed Ratio	17
3.7	Coefficient of Moment	18
3.8	Penelitian Terdahulu.....	19
2.8.1	Drag Reduction of a Circular Cylinder Using an Upstream Rod	19
2.8.2	Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Sirkular Sebagai Pengganggu Aliran Di Depan Sisi Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Tipe Savonius	21
2.8.3	Analisa Performa dari Turbin Savonius dengan modifikasi Curtain.	22
2.8.4	Studi Eksperimen Peningkatan Daya Dari Turbin Savonius	24
2.8.5	Pengaruh Lebar Dari Plat Penghalang Pada Performa Turbin Angin Savonius.....	29
2.8.6 Error! Bookmark not defined.	
BAB III.....		31
METODOLOGI		31
3.1	Parameter yang Diukur	31
3.2	Analisa Dimensi	33
3.2.1	Analisa Dimensi <i>Coefficient of Power</i>	33
3.3	Peralatan	35
3.3.1	Axial Fan	35
3.3.2	Honeycomb.....	36
3.3.3	Turbin Savonius.....	37
3.3.4	Silinder Penghalang	38
3.3.5	Penyangga Turbin Angin Savonius	39
3.3.6	Alat Ukur	39
3.4	Prosedur Penelitian	47

3.5	Flowchart penelitian	51
3.5.1	Flowchart Putaran dan Torsi Dinamis	51
3.5.2	Flowchart Torsi Statis	53
3.6	Hasil yang akan Dicapai	55
BAB IV		57
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		57
4.1	Data Penelitian dan Contoh Perhitungan	57
4.1.2	Perhitungan <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR)	59
4.1.3	Perhitungan Coefficient of Power	59
4.1.4	Perhitungan Coefficient of Moment	60
4.2	Analisa Turbin Angin Savonius Tanpa penghalang dengan Variasi Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$	61
4.2.1	Analisa Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds ..	61
4.2.2	Analisa Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio	62
4.2.3	Analisa Coefficient of Power terhadap TSR.	64
4.2.4	Torsi Statis terhadap Sudut Sudu Turbin	65
4.3	Analisa Perfoma Turbin angin Savonius Dengan Penghalang	66
4.3.1	Komparasi Putaran Poros Turbin Angin Savonius Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang ...	67
4.3.1.1	Komparasi Putaran Poros Turbin Angin Savonius Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,0$	67
4.3.5.2	Komparasi Putaran Poros Turbin Angin Savonius Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,25$	68
4.3.1.3	Komparasi Putaran Poros Turbin Angin Savonius Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,5$	70

4.3.2 Analisa Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi y/D	72
4.3.2.1 Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	72
4.3.2.2 Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$	74
4.3.2.3 Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$	75
4.3.3 Coefficient of Power terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi y/D	77
4.3.3.1 Coefficient of Power terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	77
4.3.3.2 Coefficient of Power terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$	79
4.3.3.3 Coefficient of Power terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$	81
4.3.4 Analisa Torsi Statis pada Turbin Angin Savonius dengan Silinder Penghalang pada posisi y/D 0,5.....	83
4.3.5 Perbandingan Nilai Torsi Statis antara Turbin Tanpa Penghalang dan Turbin dengan Penghalang Pada Posisi Silinder Pengganggu $y/D = 0,5$	85
4.3.5.1 Perbandingan Nilai Torsi Statis antara Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin dengan Penghalang pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$	85
4.3.5.2 Perbandingan Nilai Torsi Statis antara Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin dengan Penghalang pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$	87
4.3.5.3 Perbandingan Nilai Torsi Statis antara Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin dengan Penghalang pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$	89
4.4 Hasil CFD	91
BAB V	99
KESIMPULAN DAN SARAN	99

5.1 Kesimpulan.....	99
5.2 Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA.....	101

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Horizontal axis wind turbine(sumber: https://www.turbinesinfo.com/horizontal-axis-wind-turbines-hawt/)	8
Gambar 2.2 Turbin savonius (sumber: youtube.com/sokau_diy).....	10
Gambar 2.3 Turbin Darius (Sumber : http://www.satuenergi.com/2015/10/jenis-jenis-turbin-angin-serta.html)	11
Gambar 2.4 Skema Drag Dan Lift Force	12
Gambar 2.5 aliran fluida melewati silinder (sumber : Blevins, R. D, 1990)	16
Gambar 2.6 Grafik Hubungan antara <i>Coefficient Of Power</i> Dengan <i>Tip Speed Ratio</i> untuk Berbagai Jenis Turbin Angin (Pritchard, 1998)	18
Gambar 2.7 Skema Penelitian (Sumber : Triyogi, 2009)	20
Gambar 2.8 Distribusi koefisien tekanan pada silinder sirkular dengan variasi sudut potong pada $Re = 5.3 \times 10^4$ (Triyogi et al, 2009).....	21
Gambar 2.9 Perbandingan CoP dengan penghalang terhadap CoP tanpa penghalang (Adhi,2017).....	22
Gambar 2.10 Skema Turbin Savonius dan Curtain.(sumber : Burcin Deta ,et al 2007)	23
Gambar 2.11 Pengaruh Panjang curtain terhadap CoP dan tip speed ratio dengan $\alpha=45^\circ$	24
Gambar 2.12 skema alat eksperimen (oleh : Mahmoud et.al, 2012)	25
Gambar 2.13 perbandingan antara kecepatan angin dan power terhadap jumlah sudu (oleh : Mahmoud et.al, 2012)	26
Gambar 2.14 pengaruh jumlah stage terhadap specific power dan kecepatan angin (oleh : Mahmoud et.al, 2012)	27
Gambar 2.15 pengaruh overlap ratio terhadap power dan kecepatan angin (oleh : Mahmoud et.al, 2012)	27
Gambar 2.16 pengaruh aspect ratio terhadap power dan kecepatan angin (oleh : Mahmoud et.al, 2012).....	28
Gambar 2.17 Pengaruh pemasangan endplate terhadap power dan kecepatan angin (oleh : Mahmoud et.al, 2012)	28
Gambar 2.18 Skema penelitian Triyogi et al (2018)	29
Gambar 2.19 Rasio Coefficient of Power turbin dengan plat dan tanpa plat pada $Re= 30.000$ dan 90.000	30

Gambar 3.1 Rangka Turbin Savonius dan Penghalang.....	31
Gambar 3.2 Skema Penelitian dan Parameter ukur.....	32
Gambar 3.3 Axial Fan CKE SPV-18	36
Gambar 3.4 Honeycomb yang Digunakan dalam Penelitian	37
Gambar 3.5 Skema Instalasi <i>Axial Fan</i> , <i>Honeycomb</i> dan Plat Penghalang Terhadap Turbin Savonius.....	37
Gambar 3.6 Skema Turbin Savonius	38
Gambar 3.7 Skema dimensi penghalang.....	39
Gambar 3.8 Skema dimensi penyangga.....	39
Gambar 3.9 Anemometer Omega HHF141	40
Gambar 3.10 Tachometer OMEGA seri HHT12.....	41
Gambar 3.11 Ling Bridge TDGC 2J-3 voltage regulator	42
Gambar 3.12 Torque meter LUTRON model TQ-8800	43
Gambar 3.13 Gambar Skema Brake dynamometer	44
Gambar 3.14 Nercaca Pegas NAGATA tipe C-5	45
Gambar 3.15 Benang Nylon LAZER.....	45
Gambar 3.16 Pelumas WD 40	46
Gambar 3.17 Ball bearing	47
Gambar 3.18 Flowchart penelitian.....	53
Gambar 3.19 Flowchart Torsi Statis	55
Gambar 4.1 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds	62
Gambar 4.2 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio tanpa Penghalang. ..	63
Gambar 4.3 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio.....	64
Gambar 4.4 Grafik Torsi Statis terhadap sudut.....	65
Gambar 4.5 Grafik putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds Pada Turbin tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada posisi $y/D = 0,0$	67
Gambar 4.6 Grafik putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds Pada Turbin tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada posisi $y/D = 0,25$	69
Gambar 4.7 Grafik putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds Pada Turbin tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada posisi $y/D = 0,5$	71
Gambar 4.8 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio dengan penghalang pada posisi Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	73

Gambar 4.9 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio dengan penghalang pada posisi Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$	74
Gambar 4.10 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio dengan penghalang pada posisi Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$	76
Gambar 4.11 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi posisi y/D pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	78
Gambar 4.12 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi posisi y/D pada bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$	80
Gambar 4.13 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi posisi y/D pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$	82
Gambar 4.14 Grafik Torsi Statis Berpenghalang posisi y/D : 0,5 terhadap sudut bukaan turbin dengan variasi bilangan Reynolds.....	84
Gambar 4.15 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin angin tanpa penghalang dengan turbin angin berpenghalang pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	86
Gambar 4.16 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin angin tanpa penghalang dengan turbin angin berpenghalang pada bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$	88
Gambar 4.17 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin angin tanpa penghalang dengan turbin angin berpenghalang pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$	90
Gambar 4.18 kontur tekanan pada posisi angular sudu 30 derajat Bilangan Reynolds 97000 (a) tanpa penghalang berpenghalang, bilangan Reynolds 145000 (c) tanpa penghalang (d) berpenghalang, bilangan Reynolds 178000 (f) tanpa penghalang(g) berpenghalang	92
Gambar 4.19 kontur kecepatan pada posisi angular sudu 30 derajat Bilangan Reynolds 97000 (a) tanpa penghalang berpenghalang, bilangan Reynolds 145000 (c) tanpa penghalang (d) berpenghalang, bilangan Reynolds 178000 (f) tanpa penghalang(g) berpenghalang	93
Gambar 4.20 kontur tekanan pada bilangan Reynolds 178000 dengan sudut angular sudu 30 derajat (a) tanpa penghalang berpenghalang, sudut angular sudu 90 derajat (c) tanpa penghalang (d) berpenghalang, sudut angular 160 derajat (f) tanpa penghalang(g) berpenghalang	95

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi Tiap Parameter	34
Tabel 3.2 Spesifikasi Axial Fan CKE SPV-18	36
Tabel 3.3 Spesifikasi Omega HHF141	40
Tabel 3.4 Spesifikasi Tachometer	41
Tabel 3.5 Spesifikasi Ling Bridge TDGC 2J-3	42
Tabel 3.6 Spesifikasi Torque meter LUTRON model TQ-8800 ..	43
Tabel 3.7 Spesifikasi Neraca Pegas NAGATA tipe C-5	45
Tabel 3.8 Spesifikasi Benang Nylon Lazer	46
Tabel 3.9 Spesifikasi WD 40	46
Tabel 3.10 Spesifikasi Ball bearing	47
Tabel 4.1 Data turbin angin Savonius Tanpa Penghalang Silinder	61

DAFTAR SIMBOL

A	<i>Cross sectional area</i> (m^2)
b	diameter poros (m)
C_D	Koefisien <i>drag</i>
C_m	<i>Coefficient of Moment</i>
CoP	<i>Coefficient of Power</i>
CoP_0	<i>Coefficient of Power</i> turbin tanpa silinder pengganggu
C_p	Koefisien <i>pressure</i>
D	Diameter sudu Turbin Savonius (m)
d	Diameter silinder sirkular pengganggu (m)
D_0	Diameter <i>end plates</i> (m)
E_k	Energi kinetik (Joule)
F_D	Gaya <i>drag</i> (N)
g	gaya gravitasi (m/s^2)
H	Tinggi turbin angin Savonius (m)
h	tinggi silinder sirkular pengganggu (m)
n	Putaran turbin (rpm)
n_0	Putaran turbin tanpa silinder pengganggu (rpm)
P_W	Daya angin (Watt)
P_T	Daya aktual turbin (Watt)
P	Tekanan udara saat penelitian dilakukan (N/m^2)
R	Konstanta spesifik gas (J/kg K)
R	Jari-jari turbin (m)
r	Jari-jari silinder pada poros turbin (m)
Re	Bilangan Reynolds
S	jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat <i>returning blade</i> (m)
T	Temperatur udara saat penelitian dilakukan ($^{\circ}\text{K}$)
T	Torsi statis dari putaran poros (N.cm)
T_0	Torsi statis turbin tanpa silinder pengganggu (N.cm)
t	Tebal <i>end plates</i> (m)
U_{∞}	Kecepatan aliran <i>free stream</i> udara (m/s)

y	Posisi silinder pengganggu dalam arah tegak lurus arah datang angin (m)
ρ	Massa jenis udara (kg/m^3)
μ	Viskositas udara (Ns/m^2)
τ	Torsi Dinamis yang dihasilkan turbin (N-m)
ω	Kecepatan angular turbin (rad/s)
λ	<i>Tip Speed Ratio</i>
Θ	sudut angular turbin angin savonius

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Konsumsi energy Indonesia pada tahun 2016 menurut PLN adalah sebesar 114.347 MVA. Sedangkan pada tahun 2015 daya yang terhubung ke PLN adalah 106.582 MVA. Terjadi kenaikan daya sebesar 7 %. Jenis-jenis pembangkit yang dimiliki PLN adalah PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTD, PLTP, PLTMG, PLTS dan PLTB. Pembangkit listrik yang mendominasi produksi listriknya adalah PLTU dengan presentase 51,67%, PLTGU dengan presentase 22,49% dan PLTA 9.98%. Dapat dilihat bahwa Indonesia masih bergantung dengan tenaga fosil. Cadangan tenaga fosil menurut penelitian ,Shafiee S. et al, 35 tahun untuk minyak, 107 tahun untuk batu bara, dan 37 tahun untuk gas.

Pembangkit listrik tenaga angin masih kurang dikembangkan. Pln hanya menghasilkan 0.2 megawatt dari pembangkit listriknya. Pembangkit listrik tenaga angin mempunyai potensi yang besar. Dikarenakan pembangkit jenis ini dapat beroperasi pada siang dan malam dan tidak menyebabkan polusi udara. Cara kerja dari turbin angin adalah mengubah gaya yang dihasilkan oleh angin terhadap sudu turbine. Gaya yang dihasilkan dapat berupa gaya lift atau gaya drag. Gaya ini akan di ubah menjadi energy listrik oleh generator.

Sedikitnya hasil dari pembangkit listrik tenaga angin dikarenakan efisiensi turbin yang masih rendah. Terdapat berbagai macam jenis turbin angin. Jika menurut sumbu putarnya terdapat 2 jenis. Yaitu horizontal axis dan vertical axis. Vertical axis mempunyai bentuk yang lebih sederhana dan dapat dikenai angin dari berbagai arah. Tetapi, efisiensi dari turbin angin vertical lebih rendah.

Effisiensi tertinggi turbin vertical jenis *Savonius* adalah sebesar 18 % (**M.H. Mohamed et.al, 2010**). Turbin vertical jenis *Savonius* dapat berputar dengan kecepatan angin relatif rendah dan

dapat berputar dari keadaan diam tanpa pemberian daya. Turbin angin *darius* tidak dapat berputar tanpa pemberian daya pada putaran pertama. Turbin angin *Savonius* mempunyai potensi yang tinggi dikarenakan dapat berputar pada kecepatan angin yang rendah. Cara kerja dari turbin *Savonius* adalah dengan menerima gaya dari angin berupa gaya drag yang kemudian menjadi torsi. Torsi ini kemudian di ubah menjadi listrik oleh generator.

Salah satu penelitian eksperimen yang dilakukan oleh N.H. Mahmoud et al, Faculty of Engineering, Sinai University, Egypt, membandingkan efisiensi dari turbin *Savonius* dengan 2,3, dan 4 blade serta turbin dengan 1 dan 2 stage. Dari hasil experiment didapatkan bahwa turbin angin dengan jumlah blade 2 lebih efisien dibandingkan dengan 3 dan 4 blade serta turbin angin dengan 2 stage lebih efisien dibandingkan dengan 1 stage.

Untuk meningkatkan efisiensi turbin dapat digunakan penghalang pada bagian *returning blade*. Pada Penelitian yang dilakukan M.H. Mohammed et al dari University of Magdeburg, Germany, dengan menggunakan penghalang berbentuk persegi Panjang dengan variasi kemiringan penghalangnya dan pada turbin *Savonius* tipe 2 blade dan 3 blade. Penelitian ini menggunakan Analisa dari Komputasi fluida (CFD) dengan software fluent dengan banyak grid 75000 hingga 95000 cell. Hasil yang didapatkan adalah dengan sudut kemiringan penghalang $100,83^\circ$ untuk turbin 2 blade dan $80,52^\circ$ untuk turbin 3 blade merupakan sudut optimalnya dan didapatkan kenaikan efisiensi sebesar 27,5% dibandingkan dengan tanpa penghalang.

Penelitian yang dilakukan oleh Burçin Deda Altan et al, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Pamukkale University, Kınıklı 20070 Denizli, Turkey, dengan menambahkan 2 penghalang berbentuk plat. Plat penghalang pertama diletakkan di depan *returning blade* dengan sudut kemiringan 45° dan plat penghalang kedua diletakkan sebelah dengan *Advancing blade* dengan kemiringan 15° . Geometri dari turbin *Savonius* dengan tinggi 32 cm dan diameternya 35,2 cm. Kemiringan dari penghalang bertujuan untuk mengarahkan angin

ke *advancing blade*. Dari hasil experiment didapatkan dengan menggunakan penghalang pengaturan tersebut, effisiensinya naik 38.5% dengan tanpa penghalang. Penelitian yang dilakukan oleh Adhi Hertamtomo dari departemen Teknik Mesin ITS pada tahun 2017. Penelitian ini dilakukan dengan penambah penghalang berbentuk silinder yang ditempatkan didepan *returning blade* dengan variasi jarak antara pusat silinder dan pusat turbin savonius. Hasil yang didapatkan adalah kenaikan CoP sebesar 13 kali pada penempatan penghalang pada rasio jarak terhadap diameter sudu (S/D) 1.4. penelitian ini memiliki beberapa kelemahan yang pertama adalah penelitian dilakukan pada wind turnnel tertutup yang mengakibatkan blockage ratio dan alat ukur yang tidak akurat.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa penelitian tentang penghalang didepan *returning blade* untuk meningkatkan performa turbin savonius belum banyak dilakukan oleh karena itu diperlukan penelitian lebih.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Design dari turbin Savonius merupakan design yang sederhana. Bentuk dari sudu turbin *Savonius* berupa 2 setengah lingkaran yang saling berhadapan. Sudu *advancing* adalah sudu yang arah putarnya sama dengan arah aliran udara. Sedangkan *returning blade* adalah sudu yang arah putarnya berlawanan dengan arah aliran angin. mempunyai nilai drag yang lebih besar dibandingkan dengan *returning blade*. Dengan memasang penghalang pada depan *returning blade* akan memperkecil gaya drag sehingga perbedaan gaya semakin besar.

. Pada penelitian ini digunakan turbin Savonius dengan jumlah sudu 2. Dengan penghalang berbentuk silinder dengan variasi rasio posisi penghalang dalam arah tegak lurus dengan arah datangnya angin terhadap diameter sudu turbin (y/D) dan variasi tip speed ratio. Hipotesa dari penelitian ini adalah:

1. Penempatan silinder pengganggu didepan *returning blade* diduga dapat menyebabkan tekanan didaerah antara

silinder pengganggu dan *returning blade* akan menurun, sedangkan tekanan dibelakang *returning blade* diasumsikan sama seperti tidak menggunakan silinder pengganggu. Sehingga selisih total tekanan antara di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun, akibatnya preassure drag pada *returning blade* akan menurun akibatnya selisih gaya drag antara *returning blade* dan *advancing blade* akan semakin besar dan nilai torsi serta daya yang dihasilkan akan semakin tinggi.

2. Silinder pengganggu diletakkan di depan *returning blade* turbin angin Savonius. Silinder pengganggu digunakan kemungkinan besar berpengaruh untuk menurunkan nilai drag yang timbul di *returning blade*. Hal ini dikarenakan wake yang di timbul dibelakang silinder pengganggu mempercepat perubahan boundary layer menjadi turbulen pada *returning blade*. Sehingga titik spearasi mundur kebelakang menyebabkan wake yang sempit dan gaya drag pada *returning blade* menurun. Akibatnya selisih gaya drag semakin besar dan torsi yang dihasilkan akan semakin besar
3. Variasi rasio posisi silinder pengganggu dalam arah tegak lurus arah datangnya angin terhadap diameter turbin angin Savonius (y/D) sebesar 0; 0,25; 0,5 memiliki pengaruh untuk mendapatkan posisi optimum dimana *wake* yang dihasilkan oleh silinder pengganggu dapat secara efektif menunda titik separasi dari *returning blade* sejauh mungkin ketika turbin Savonius berputar, akibatnya nilai gaya *drag returning blade* semakin mengecil dan selisih gaya *drag* kedua sudu akan semakin meningkat. Dilain sisi, silinder pengganggu pada posisi (y/D) tertentu diduga dapat berpengaruh dalam mengarahkan aliran udara menuju sisi *advancing blade* lebih banyak. Akibatnya gaya *drag* yang dihasilkan pada sisi *advancing blade* akan semakin meningkat seiring dengan pergeseran posisi y menuju *advancing blade* hingga mencapai posisi

optimumnya. Tetapi setelah posisi y melewati posisi optimumnya, akan terjadi peningkatan gaya *drag* pada *returning blade* dan selisih gaya *drag* kedua sudu akan menurun. Sehingga nilai torsi, daya, dan *coefficient of power* (CoP) akan meningkat hingga jarak y optimum kemudian menurun seiring dengan penambahan jarak y melewati jarak y optimum.

Untuk membuktikan hipotesa diatas digunakan turbin dengan diameter sudu sebesar 152.4 mm dengan penghalang berbentuk silinder yang mempunyai nilai $d/D = 0.2$ dan posisi silinder yang divariasikan (y/D) 0, 0,25 0,5. Penelitian ini dilakukan pada aliran dengan variasi Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini ada beberapa batasan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan aliran eksternal
2. Menggunakan turbin angin *Savonius* dengan diameter sudu 152,4 mm.
3. Penghalang PVC berbentuk silinder dengan diameter 30.48 mm yang akan diletakkan didepan *returning blade*.
4. Variasi posisi silinder penghalang dalam arah tegak lurus arah datang angin (y) 0 mm, 38mm dan 76 mm

Aliran fluida berupa udara dengan kondisi *steady flow*, *incompressible* dan *uniform* pada sisi *upstream* dengan *Reynolds Number* $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$ serta pada penelitian ini menggunakan aliran satu arah.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian penghalang berbentuk cylinder dengan variasi posisi silinder penghalang (y/D) terhadap performa turbin *Savonius*. Dengan Diameter sudu turbin (D) sama dengan 152.4 mm dan variasi posisi silinder yang tegak lurus arah datangnya angin 0mm,

38mm dan 76mm. variasi variasi Bilangan Reynolds 9×10^4 , $13,8 \times 10^4$ dan $16,8 \times 10^4$. Penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Mengukur kecepatan putar poros turbin angin *Savonius* .
2. Mengukur nilai torsi statis dan torsi dinamis dari turbin *Savonius*
3. Menghitung *coefficient of power (CoP)* dari turbin angin *Savonius*

1.5 MAMFAAT PENELITIAN

Mamfaat dari penelitian ini adalah memberi penjelasan tentang pengaruh penghalang silinder terhadap torsi statis dan dinamis serta terhadap *coefficient of power* dari turbin *Savonius*.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Turbin Angin

Energy angin merupakan energy yang menjanjikan. Untuk menggunakan energy angina dapat digunakan turbin angin. Tetapi energy yang dihasilkan oleh turbin angin tidak sebesar yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga fossil. Pembangkit listrik terbesar yang memakai tenaga angin berada di daerah California, USA, dengan kapasitas 1.020 MW. Di Indonesia, turbin angin tidak begitu berkembang dengan output yang dihasilkan sebesar 0.2 megawatt pada tahun 2016. Komponen dari turbin angin adalah rotor, baling-baling, generator, transmisi dan rangkanya. Rotor merupakan poros dari turbin angin yang melekat ke baling baling. Kegunaan dari rotor adalah mentransmisikan energy yang dihasilkan dari baling baling ke transmisi. Baling-baling merupakan komponen yang menerima gaya dari angin yang mengubahnya menjadi energy mekanik berupa putaran. Transmisi berguna untuk mengubah kecepatan yang ditransmisikan dari rotor agar sesuai dengan kecepatan design dari generator. Kecepatan putar baling baling biasanya antara 15-20 rpm dan keluaran dari transmisinya adalah sebesar 1800 rpm. Generator akan mengubah energy kinetic menjadi energy listrik. Cara kerja dari turbin angin adalah energy dari aliran angin akan ditangkap oleh baling baling. Baling baling akan membuat rotor berputar dan putaran ini akan di rubah menjadi energy listrik oleh generator. Pemasangan turbin angin biasanya dipasang pada ketinggian 80 m lebih. Dikarenakan pada ketinggian tersebut kecepatan anginnya lebih tinggi dibandingkan pada permukaan laut. Selain itu pemasangan pada laut lepas juga meningkatkan energy yang dihasilkan. Turbin angin dapat dibedakan dari sumbu putarnya. Sumbu horizontal atau horizontal axis wind turbine (HAWT) dan sumbu vertical atau vertical axis wind turbine (VAWT)

2.1.1 Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

Turbin angin tipe ini mempunyai sumbu putar yang searah dengan arah datangnya angin. Horizontal Axis wind turbine sering digunakan pada daerah yang kecepatan anginnya tinggi. Dikarenakan output yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan vertical axis wind turbine. Kelemahan dari turbin angin ini adalah angin yang dapat diterima hanya dari satu arah saja. Dimensi dari turbin angin horizontal axis sangat besar dibandingkan dengan vertical. Diameter dari turbin angin modern dapat mencapai 90 m dengan tinggi hingga 100 m.



Gambar 2.1 Horizontal axis wind turbine(sumber: <https://www.turbinesinfo.com/horizontal-axis-wind-turbines-hawt/>)

Kelebihan dari turbin angin tipe ini adalah daya yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin jenis lainnya dikarenakan sudunya dapat di ubah angle of attacknya menyesuaikan kecepatan anginnya. selain itu tinggi dari rangkanya juga mempengaruhi dikarenakan pada ketinggian tersebut kecepatan angin 20% lebih tinggi dan power outputnya dapat meningkat sebesar 34%.

kelemahan dari Horizontal axis wind turbines adalah pemasangan dan transportasi yang rumit dan membutuhkan biaya yang besar. hal ini dikarenakan turbin yang berdimensi besar. dibutuhkan tower yang kuat untuk menyangga sudu gearbox dan generator yang berat. Dikarenakan konstruksi yang besar, dapat mengganggu pantulan dari radar. hal ini akan berbahaya jika turbin angin besar ditempatkan di area penerbangan. Selain itu dikarenakan turbin angin hanya dapat menerima angin dari satu arah saja, diperlukan kontrol yaw untuk memutar turbin ke arah anginnya.

2.1.2 Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

Turbin angin jenis ini mempunyai sumbu putar yang tidak searah dengan arah datangnya angin. Turbin angin jenis ini mempunyai konstruksi yang lebih mudah di bandingkan dengan HAWT. Bentuk dari turbin angin ini sendiri relatif lebih simpel. turbin angin jenis ini dapat dibedakan menjadi 2 yaitu turbin angin Savonius dan Darrius. Prinsip kerja yang digunakan oleh kedua turbin ini berbeda. Turbin angin Savonius memakai prinsip drag pada cara kerjanya sedangkan turbin angin darrius memakai prinsip lift.



**Gambar 2.2 Turbin savonius (sumber:
youtube.com/sokau_diy)**

Dari segi konstruksi, turbin angin Savonius mempunyai design yang lebih sederhana. sudu dari turbin Savonius berbentuk seperti setengah lingkaran. Jumlah dari sudu dapat bermacam-macam mulai dari 2,3,4 dan seterusnya. semakin banyak jumlah sudu, power yang dihasilkan tidak semakin tinggi. menurut beberapa penelitian, jumlah sudu yang paling efisien adalah sebanyak 2. turbin Savonius memiliki beberapa keunggulan. turbin ini dapat berputar dengan kecepatan angin yang rendah. Dan dalam pemutaran pertamanya tidak perlu energy yang besar. tetapi dikarenakan drag yang dihasilkan oleh returning blade besar maka daya yang dihasilkan akan lebih kecil dibandingkan dengan darious.



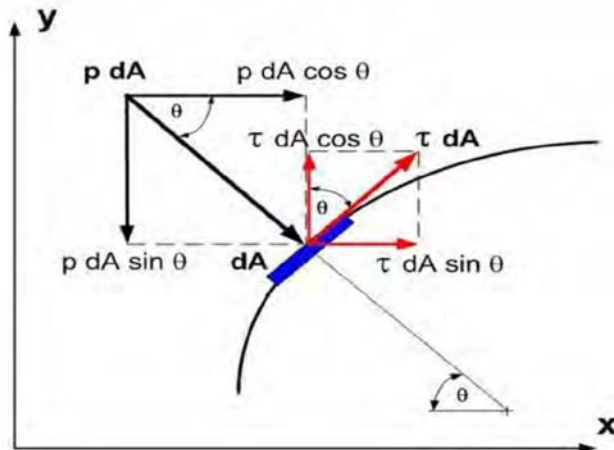
Gambar 2.3 Turbin Darius (Sumber : <http://www.satuenergi.com/2015/10/jenis-jenis-turbin-angin-serta.html>)

Turbin darius memakai airfoil pada sudunya. Pada awalnya, design turbin darius mempunyai *rigging angle* sama dengan nol. *rigging angle* adalah sudut antara airfoil dengan rangka. sudut ini effective terhadap arah datang angin dari berbagai arah. ketika turbin darius berputar, pada saat airfoil bergerak kearah datangnya angin menciptakan variasi angle of attack hal ini menciptakan gaya resultan. Hal yang sama terjadi ketika airfoil berputar searah dengan aliran angin. Gaya ini dapat di kalikan dengan jarak dari airfoil dan didapatkan torsi. Torsi ini kemudian di konversikan menjadi energi listrik dengan generator. Kelebihan dari turbin

darius adalah efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan turbin savonius. Kelemahan dari turbin darius adalah diperlukannya pemuatarn pertama, ketika turbin dalam keadaan diam dan angin relatif kencang, turbin angin tidak dapat berputar.

2.2 Gaya Drag

Gaya drag adalah gaya yang bekerja pada benda yang paralel dengan arah aliran fluida. Gaya ini timbul ketika benda bergerak dalam medan fluida viscous. Dalam kehidupan sehari-hari gaya drag dapat merugikan dan menguntungkan. Gaya drag menguntungkan pada saat aplikasi untuk memperlambat laju dari benda contohnya pada parasut. parasut digunakan untuk memperlambat jatuhnya orang atau benda agar dapat selamat sampai permukaan bumi. Gaya drag dapat merugikan ketika menahan laju dari benda. Salah satu contohnya adalah pada mobil. drag force dalam hal ini menahan mobil untuk melaju, hal ini menyebabkan losses pada energy.



Gambar 2.4 Skema Drag Dan Lift Force

Gaya drag dapat dihasilkan oleh hambatan tekanan dan hambatan gesekan.

Untuk menghitung gaya drag dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A \quad (2.1)$$

F_D = Gaya drag

ρ = densitas fluida

v = kecepatan fluida

C_d = koefisien drag

A = luas bidang yang terkena aliran fluida

Dari persamaan diatas, gaya drag dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu. kecepatan fluida, koefisien drag dari benda dan luas bidang yang terkena fluida. semakin cepat aliran fluidanya maka gaya drag yang dihasilkan akan semakin tinggi begitu juga dengan luas bidangnya. semakin besar luas bidang yang terkena aliran akan semakin besar juga gaya dragnya.

2.3 Reynolds Number

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tak berdimensi untuk menentukan karakteristik dari sebuah aliran. aliran dapat dikatakan laminar, transisi dan turbulen dari besarnya bilangan Reynolds. Persamaan dari Bilangan *Reynolds* adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (2.2)$$

Re = Bilangan *Reynolds*

ρ = Densitas dari Fluida (Kg/m^3)

L = panjang karakteristik (m)

v = Kecepatan fluida (m/s)

μ = viskositas dinamik (Ns/m)

Klasifikasi dari bilangan Reynolds pada dua plat datar adalah sebagai berikut :

- $Re < 5 \times 10^5$, aliran laminar
- $Re > 5 \times 10^5$ aliran turbulent

Pada silinder bilangan reynoldsnya adalah :

- $Re < 3 \times 10^5$ aliran laminar
- $Re > 3 \times 10^5$ aliran turbulen

Dalam penelitian ini, panjang karaktersitik (L) dari turbin Savonius adalah sama dengan dua kali diameter sudu (D) dikurangkan dengan lebarnya overlap yaitu :

$$L = (2D - a) \quad (2.3)$$

maka persamaan bilangan Reynolds-nya menjadi:

$$Re = \rho v(2D - a)/\mu \quad (2.4)$$

2.4 Coefficient of Power

Untuk menentukan performa yang dihasilkan dari turbin dapat melakukan perhitungan *Coeffisien of Power*. *Coeffisien of Power* pada turbin angin adalah perbandingan dari daya yang dihasilkan oleh turbin angin terhadap daya yang diberikan oleh angin. Semakin besar nilai CoP maka semakin tinggi daya yang dihasilkan oleh turbin. persamaan dari CoP adalah sebagai berikut.

$$CoP = \frac{Pr}{Pt} \quad (2.5)$$

dengan :

CoP : coefficient of power

Pr : Daya yang dihasilkan oleh turbin

$$T = \{(s - m)g\} \times r \quad (2.6)$$

T : Torsi Dinamis (N.m)

s : Pembacaan neraca pegas (Kg)

g : Percepatan Gravitasi (m/s^2)

r : Jari-jari poros Turbin (m)

Pt : Daya teoritis

nilai dari CoP tidak akan melebihi nilai 1 dikarenakan daya yang dihasilkan tidak dapat melebihi daya teoritis. Persamaan dari daya teoritis adalah sebagai berikut :

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A U^3 \quad (2.7)$$

Sedangkan untuk persamaan daya aktual adalah

$$P_r = T \omega \quad (2.8)$$

T : adalah torsi dari pembacaan alat (N.m)

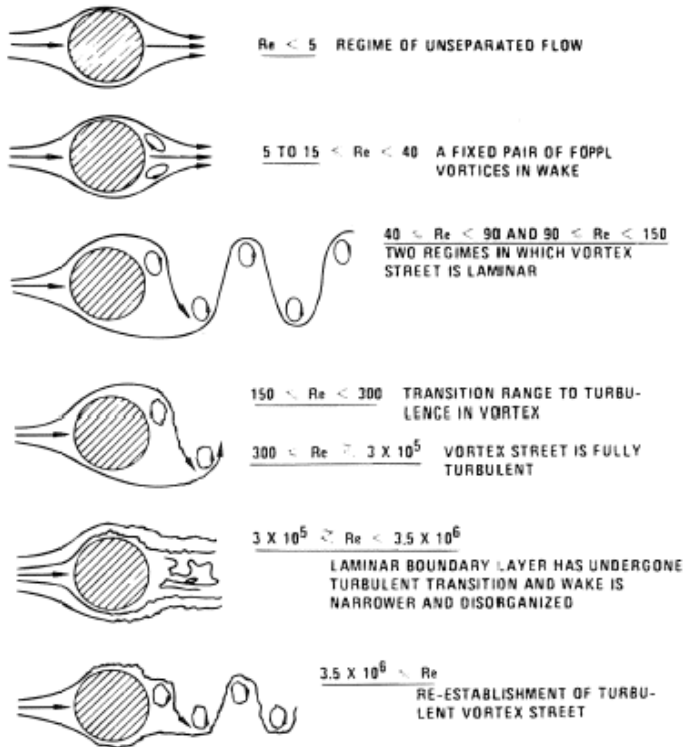
ω : putaran poros turbin (Rad/s)

maka Persamaan CoP dapat menjadi :

$$CoP = \frac{T \omega}{\frac{1}{2} \rho A U^3} \quad (2.9)$$

2.5 Aliran Fluida melewati Silinder Pejal

Aliran fluida jika melewati suatu benda akan mengikuti kontur dari permukaan benda tersebut. Lajur yang dilalui oleh fluida dapat diprediksi jika benda tersebut merupakan benda yang sederhana seperti plat, silinder dan pipa. benda yang kompleks lebih susah untuk di prediksi. benda tersebut seperti airfoil, mobil gedung dan lainnya.



Gambar 2.5 aliran fluida melewati silinder (sumber : Blevins, R. D, 1990)

Karakteristik dari aliran akan berubah sesuai dengan bilangan Reynolds. Aliran Fluida melewati sebuah silinder jika aliran tersebut memiliki Reynolds number kurang dari 1 maka aliran tersebut laminar, maka kontur alirannya tidak terjadi separasi dan wake yang terjadi laminar sedangkan drag yang timbul adalah drag friksi. Ketika aliran mempunyai karakteristik turbulen, maka akan timbul wake turbulen yang membesar ketika titik separasi bergerak dari belakang silinder menuju kedepan. Wake ini mempunyai tekanan yang rendah yang membuat drag tekanan yang

tinggi. Pada saat $Re \approx 1000$, 95% total drag adalah drag tekanan. Untuk Reynolds number antara 1000 hingga 300.000 koefisien dragnya relative konstan.

3.6 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio (λ) adalah perbandingan antara kecepatan putar poros terhadap kecepatan angin. Jika kecepatan putar poros turbin angin rendah maka daya yang diserap oleh turbin akan lebih sedikit tetapi jika kecepatan putar poros cepat maka sudu turbin seolah olah membentuk dinding dan sudu akan berputar dalam angin turbulen Ratio dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{U} \quad (2.10)$$

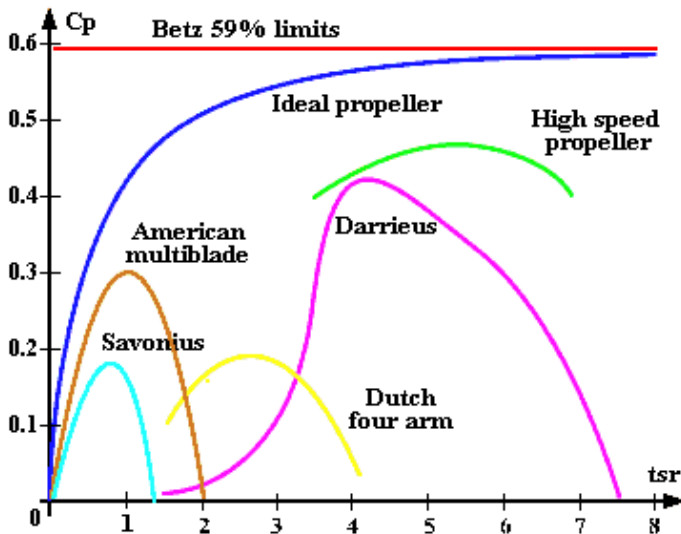
keterangan:

- λ : *tip speed ratio*
- ω : kecepatan sudut turbin (rad/s)
- R : jari-jari turbin (m)
- U : kecepatan angin (m/s)

Berdasarkan gambar 2.6 dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai TSR, *coefficient of power* akan meningkat hingga titik optimumnya, kemudian nilai *coefficient of power* akan turun seiring dengan meningkatnya nilai λ .

Menurut aturan Betz, *coefficient of power* maksimum yang dapat dihasilkan oleh turbin angin adalah 0,593. Aturan Betz Merupakan CoP maksimum yang dapat di terima oleh turbin secara perhitungan. Energy dari angin tidak dapat 100 persen ditreima oleh turbin. Dikarenakan jika diterima 100% maka partikel udara akan terhenti di belakang turbin dan udara didepannya tidak dapat melewati.

Masing-masing turbin angin memiliki titik kerja awal yang berbeda. Apabila titik kerja awal suatu turbin terletak pada nilai λ yang rendah, artinya turbin tersebut dapat bekerja pada kecepatan angin yang rendah.



Gambar 2.6 Grafik Hubungan antara *Coefficient Of Power* Dengan *Tip Speed Ratio* untuk Berbagai Jenis Turbin Angin (Pritchard, 1998)

3.7 Coefficient of Moment

Coefficient of moment adalah perbandingan antara torsi yang dihasilkan dari turbin dan torsi dari hasil perhitungan torsi teoritis. Torsi dari turbin adalah hasil pembacaan dari alat torsi statis. Untuk torsi teoritis dapat didapatkan dari persamaan

$$T_{\infty} = \frac{1}{2} \rho U^2 R \quad (2.11)$$

Dengan :

- T_{∞} : Torsi teoritis (N.m)
- ρ : Densitas fluida (Kg/m^3)
- U : Kecepatan fluida (m/s)
- R : jari jari rotor Savonius (m)

Dengan R sama dengan $2D-b/2$. Dan persamaan Coefficient of Momentnya menjadi :

$$CM : \frac{4 T}{\rho U^2 (2D - b)} \quad (2.12)$$

- T : Hasil perhitungan torsi dinamis.
- CM : Coefficient of Moment

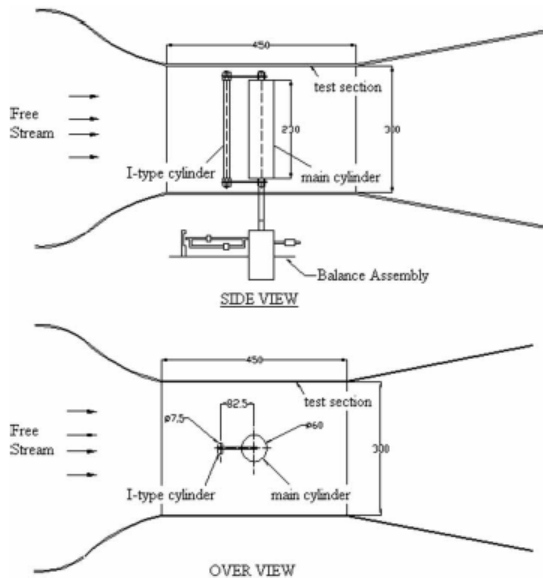
3.8 Penelitian Terdahulu

Untuk memudahkan penelitian ini, maka diperlukan beberapa referensi dari penelitian- penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Beberapa penelitian tersebut yang akan dijabarkan antara lain, Drag Reduction of a Circular Cylinder Using an Upstream Rod oleh Triyogi et.al, Pengaruh Silinder Sirkular Sebagai Pengganggu Aliran Di Depan Sisi Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Tipe Savonius oleh Daniel Fernando.

2.8.1 Drag Reduction of a Circular Cylinder Using an Upstream Rod

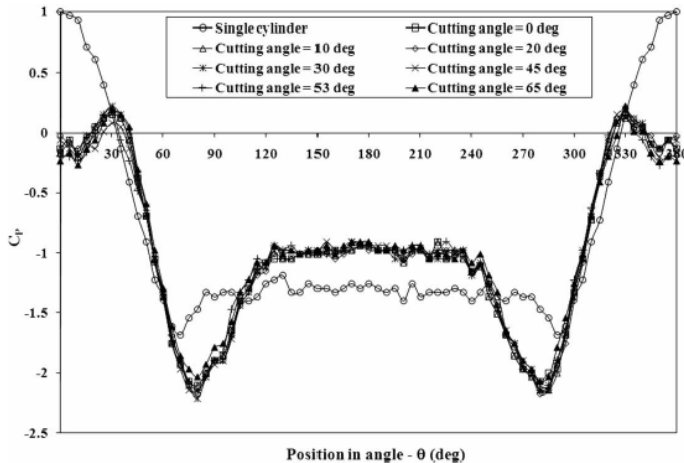
Penelitian yang bertujuan untuk mengurangi gaya *drag* pada silinder sirkular dengan menggunakan silinder pengganggu tipe I sebagai kontrol pasif oleh **Triyogi et al (2009)**. Silinder pengganggu tipe I berfungsi untuk mempengaruhi distribusi tekanan pada silinder utama dengan *shear layer*. Penggunaan silinder pengganggu tipe I dimaksudkan untuk mempersempit daerah *wake* sehingga mengubah titik separasi dan mengurangi gaya *drag* pada silinder sirkular utama. Pada penelitian ini digunakan silinder utama berdiameter (d) 60 mm dan tujuh potongan *bluff body* dari silinder sirkular pengganggu yang berdiameter (d_s) 7,5 mm dengan sudut potong (θ_s) yaitu 0° , 10° , 20° , 30° , 45° , 53° , dan 65° . Silinder pengganggu diletakkan dengan posisi permukaan potong tegak lurus terhadap arah aliran seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Rasio jarak antara kedua pusat

silinder (S/d) yaitu 1,375. Penelitian ini dilakukan pada *wind tunnel subsonic* dengan rangkaian terbuka dengan kecepatan angin konstan yaitu 14 m/s pada *Reynolds Number* (Re) sebesar $5,3 \times 10^4$.



Gambar 2.7 Skema Penelitian (Sumber : Triyogi, 2009)

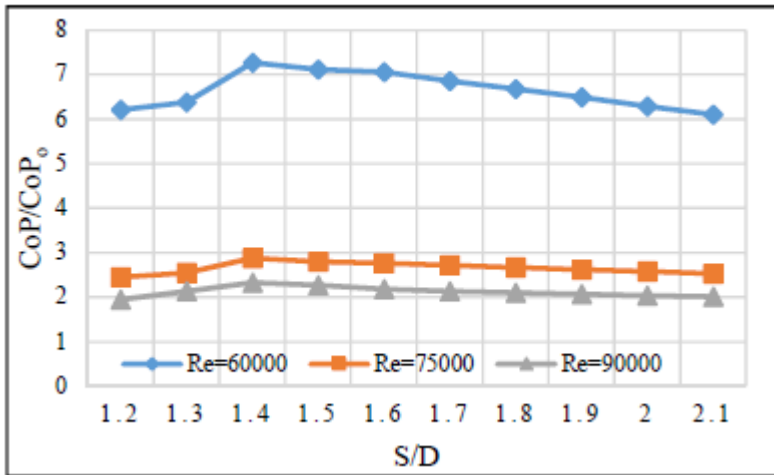
Hasil Penelitian menunjukkan bahwa dengan titik optimum ditemukan pada Silinder pengganggu tipe-I dengan sudut potong (θ_s) sebesar 65° mampu mereduksi gaya *drag* lebih besar diantara yang lain sebesar 0,52 kali dari silinder sirkular tanpa pengganggu.



Gambar 2.8 Distribusi koefisien tekanan pada silinder sirkular dengan variasi sudut potong pada $Re = 5.3 \times 10^4$ (Triyogi et al, 2009)

2.8.2 Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Sirkular Sebagai Pengganggu Aliran Di Depan Sisi Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Tipe Savonius

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan daya yang dihasilkan oleh turbin Savonius dengan menambah silinder pengganggu didepan *returning blade* yang dilakukan oleh **Adhi (.2017)**. Penelitian ini menggunakan wind tunnel dan turbin Savonius dengan dimensi diameter sudu (D) 60 mm, tinggi (H) 80 mm, diameter turbin 106 mm dan lebar overlap (a) sebesar 14 mm. Dimensi pengganggu yang digunakan diameter (d) 12 mm dan tinggi 280 mm di depan returning blade untuk mengurangi gaya hambat yang terjadi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi jarak S/D antara 1,2 – 2,1 dan menggunakan bilangan Reynolds sebesar 60000, 75000 dan 90000, nilai bilangan Reynolds didapatkan berdasarkan perhitungan kecepatan free stream dan panjang karakteristik dari turbin angin ($2D - a$).



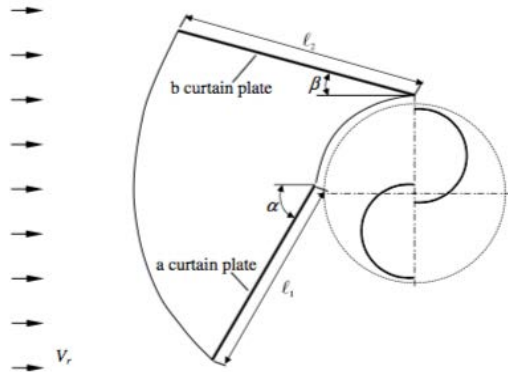
Gambar 2.9 Perbandingan CoP dengan penghalang terhadap CoP tanpa penghalang (Adhi,2017)

Dari penelitian ini didapatkan hasil adalah penggunaan silinder pengganggu yang diletakkan di depan returning blade terbukti efektif dalam meningkatkan performa turbin angin Savonius. Hal ini ditandai dengan kenaikan nilai CoP dari tanpa penghalang dengan kenaikan tertinggi berada pada bilangan Reynolds 60000 pada posisi y/D 1,4 kenaikannya sebesar 7 kali dari tanpa penghalang. Kelemahan pada pengujian kali ini adalah pengujian dilakukan pada wind tunnel sehingga terjadi blockage effect dari imbasan putar turbin dan alat ukur yang digunakan menggunakan dynamo yang akhirnya diukur hasil yang di keluarkan,

2.8.3 Analisa Performa dari Turbin Savonius dengan modifikasi Curtain.

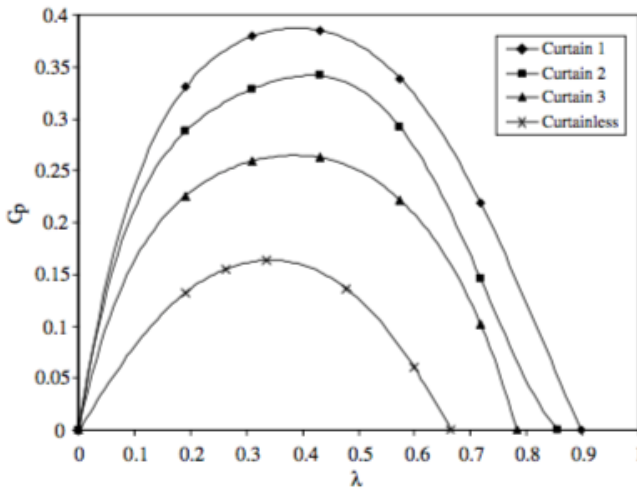
Analisa ini menggunakan metode komputasi fluida serta eksperimen pada turbin Savonius dengan menambahkan penghalang berbentuk *curtain* didepan *returning blade* oleh **Burcin Deta ,et al (2007)**. Analisa dna eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui performa dari turbin angin Savonius jika

ditambahkan penghalang berupa curtain dengan variasi panjang curtain dan sudut curtain tersebut. Diameter rotor (D) sebesar 32 cm dengan tinggi turbin (H) 32 cm, lebar gap (e) sebesar 2,4 cm.



Gambar 2.10 Skema Turbin Savonius dan Curtain.(sumber : Burcin Deta ,et al 2007)

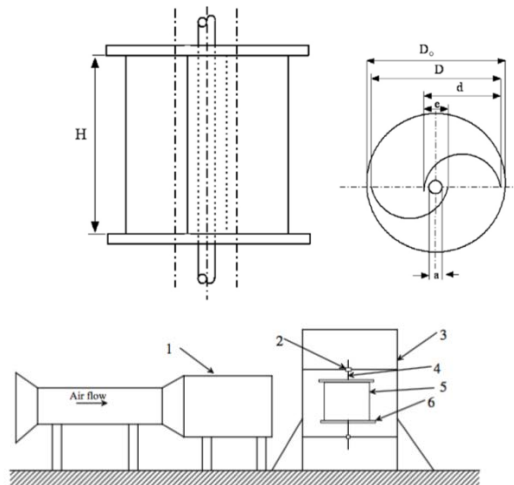
Variasi panjang l_1 adalah 45, 34, 22 cm, panjang l_2 52, 39, 26 cm dan sudut α 30-60° dan sudut β 10-25° serta posisi rotor pada sudut 0°, 60° dan 45°. Hasil yang optimum didapatkan pada panjang curtain l_1 45 cm dan l_2 52 cm dengan sudut α 45° dan sudut β 15°.



Gambar 2.11 Pengaruh Panjang curtain terhadap CoP dan tip speed ratio dengan $\alpha=45^\circ$ $\beta=15^\circ$

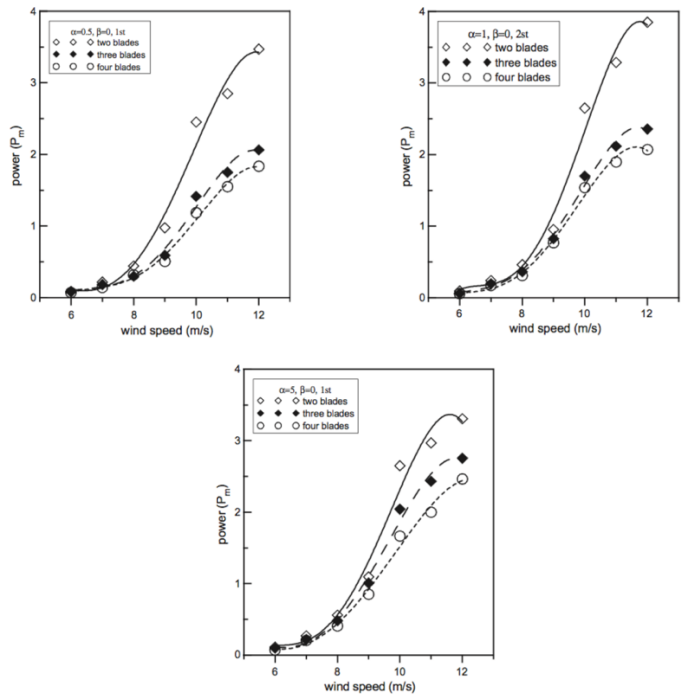
2.8.4 Studi Eksperimen Peningkatan Daya Dari Turbin Savonius

Studi Eksperimen yang dilakukan oleh N.H. Mahmoud. Tentang peningkatan daya yang di hasilkan oleh turbin savonius dengan variasi penambahan sudu, jumlah stage, rasio overlap, diameter sudu, aspect rasio dan penambahan end plate. Pada eksperimen ini digunakan diameter sudu 0,3, 0,2, 0,1 dan 0,08 m serta rasio overlap sedangkan untuk jumlah stage yang dipakai adalah 1 dan 2 stage. Untuk jumlah sudu yang divariasikan adalah 2, 3 dan 4. Ketebalan dari end plate yang dipakai adalah 2,5 mm dengan diameter 10% lebih besar dengan lebar turbin savonius. Dan variasi aspect rasio yang dipakai adalah 0,5, 1, 2, 4 dan 5. Variasi overlap ratio yang dipakai 0, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35.

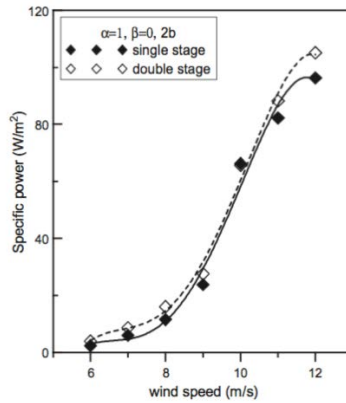


Gambar 2.12 skema alat eksperimen (oleh : Mahmoud et.al, 2012)

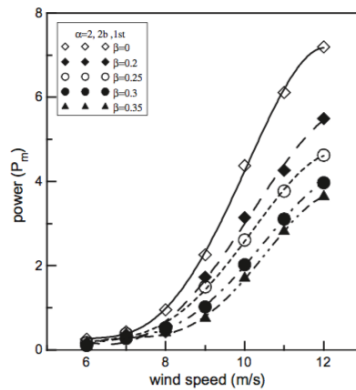
Hasil dari eksperimen didapatkan bahwa power yang dihasilkan dari turbin 2 sudu lebih tinggi dibandingkan dengan 3 dan 4 sudu. Power yang dihasilkan turbin dengan 2 stage lebih tinggi dibandingkan dengan 1 stage. Turbin dengan overlap ratio sama dengan 0 menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain. Sedangkan semakin tingginya aspect ratio, power yang dihasilkan semakin tinggi. Pengaruh penambahan end plate meningkatkan power yang dihasilkan.



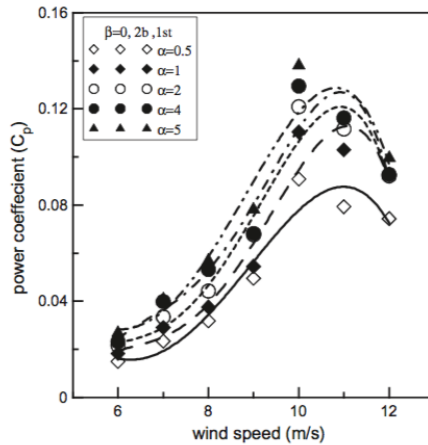
Gambar 2.13 perbandingan antara kecepatan angin dan power terhadap jumlah sudu (oleh : Mahmoud et.al, 2012)



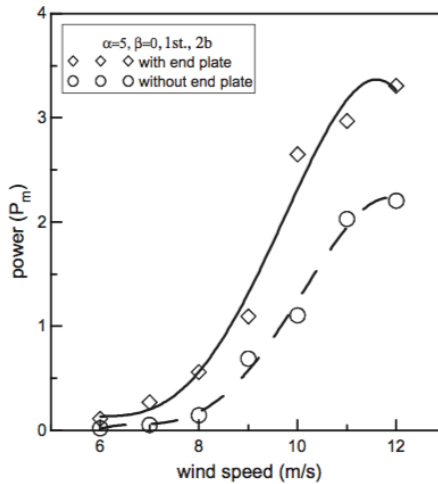
Gambar 2.14 pengaruh jumlah stage terhadap specific power dan kecepatan angin (oleh : Mahmoud et.al, 2012)



Gambar 2.15 pengaruh overlap ratio terhadap power dan kecepatan angin (oleh : Mahmoud et.al, 2012)



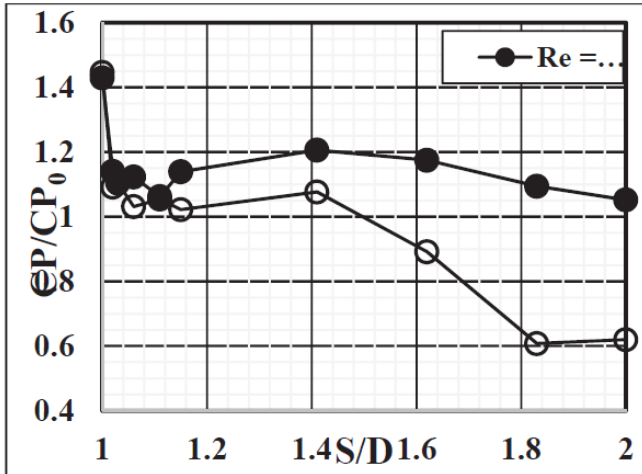
Gambar 2.16 pengaruh aspect ratio terhadap power dan kecepatan angin (oleh : Mahmoud et.al, 2012)



Gambar 2.17 Pengaruh pemasangan endplate terhadap power dan kecepatan angin (oleh : Mahmoud et.al, 2012)

Hasil dari eksperimen ini diperoleh bahwa penempatan plat pengganggu di depan *returning blade* pada $Re = 30000$ sangat efektif untuk meningkatkan daya turbin dibandingkan tanpa silinder pengganggu, dibuktikan dengan $CP/CP_0 > 1$. Peletakkan plat pengganggu pada $Re = 90000$ dengan semakin meningkatnya $S/D > 1,41$ maka nilai CP/CP_0

mengalami penurunan. *Coefficient of Power* turbin dengan plat pengganggu pada $S/D = 1,83$ akan menurun hingga 60,7% dibandingkan tanpa plat pengganggu.

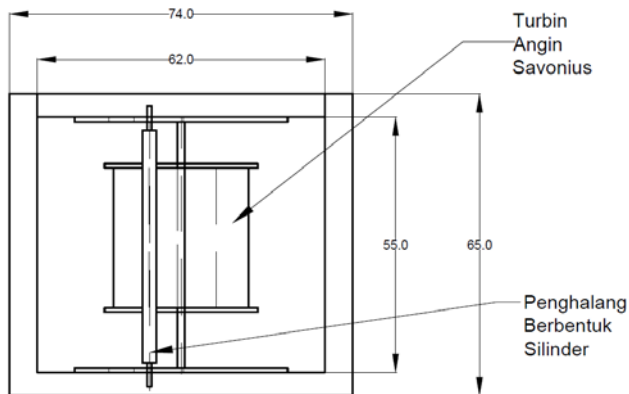


Gambar 2.19 Rasio Coefficient of Power turbin dengan plat dan tanpa plat pada $Re = 30,000$ dan $90,000$ (Triyogi, et.al.2018)

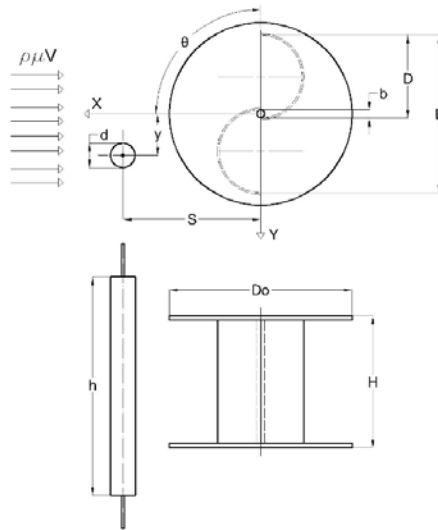
BAB III METODOLOGI

3.1 Parameter yang Diukur

Pada gambar-gambar dibawah ini dapat dilihat skema penelitian dan parameter yang akan dianalisa pada penelitian ini. Fungsi dari analisa ini adalah untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu penelitian atau tidak. Parameter yang memengaruhi penelitian kali ini desintas udara, kecepatan udara, viskositas udara, diameter penghalang, letak penghalang terhadap poros turbin (y), letak penghalang terhadap returning blade (S/D), diameter turbin, lebar overlap dan tinggi turbin. Gambar 3.1 merupakan skema dari rangka, turbin dan silinder penghalang.



Gambar 3.1 Rangka Turbin Savonius dan Penghalang



Gambar 3.2 Skema Penelitian dan Parameter ukur

Dimana:

D : diameter sudu Turbin Savonius (m)

S : jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat turbin Savonius pararel dengan datangnya angin (m)

y : jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat turbin Savonius tegak lurus dengan datangnya angin (m)

d : diameter silinder pengganggu (m)

H : tinggi turbin Savonius (m)

L : diameter Turbin Savonius (m)

b : Diameter poros (m)

U : kecepatan aliran angin (m/s)

ρ : densitas udara (kg/m^3)

μ : viskositas dinamik udara (N.s/m^2)

θ : sudut angular turbin (deg)

ω : putaran sudu (RPM)

3.2 Analisa Dimensi

Analisa dimensi digunakan untuk mengetahui apa saja yang mempengaruhi karakteristik aliran yang melewati turbin angin Savonius dengan pengganggu berupa silinder sirkular dengan diameter tertentu. Metode table 3.3a yang digunakan adalah dengan Teorema Phi Buckingham.

3.2.1 Analisa Dimensi *Coefficient of Power*

Dalam melakukan analisa, perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi power

$$P = f(\rho, \mu, U, D, b, d, S, H, n, b, h, y)$$

Jumlah parameter (n) = 10 parameter

Parameter-parameter tersebut adalah:

P	: power, watt
ρ	: massa jenis udara, kg/m ³
μ	: viskositas absolut udara, N.s/m ²
U	: kecepatan aliran udara, m/s
D	: diameter turbin Savonius, m
b	: diameter overlap, m
d	: Diameter penghalang
S	: Jarak antara pusat silinder pengganggu

dengan

	pusat <i>returning blade</i> , m
H	: tinggi turbin Savonius, m
n	: putaran turbin, rpm
h	: Panjang silinder pengganggu (m)
y	: posisi silinder penghalang terhadap sudu Savonius tegak lurus dengan arah datangnya angin (m)

2. Menentukan satu grup dimensi primer yang digunakan dalam table 3.3a. Dalam penelitian ini digunakan M, L, t
3. Membuat dimensi primer masing-masing parameter yang ditunjukkan pada table 3.1

Tabel 3.1 Dimensi Tiap Parameter

Parameter	P	ρ	μ	U	D	b	L	d	H	n	t	y
Dimensi	$\frac{ML^2}{t^3}$	$\frac{M}{L}$	$\frac{M}{Lt}$	$\frac{L}{t}$	L	L	L	L	L	$\frac{1}{t}$	L	L

1. Memilih parameter berulang (m) yang jumlahnya sama dengan jumlah dimensi primer ® yang digunakan yaitu: ρ , U, D

Jumlah parameter berulang (m) = r = 3.

2. Menentukan grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan.

Jumlah grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan = $10-3 = 7$ grup tanpa dimensi. Grup tanpa dimensi tersebut antara lain:

$$\begin{aligned}
 \pi_1 &= \frac{P}{\rho U^3 D^2} & \pi_6 &= \frac{H}{D} \\
 \pi_2 &= \frac{\mu}{\rho U D} & \pi_7 &= \frac{n D}{U} \\
 \pi_3 &= \frac{d}{D} & \pi_8 &= \frac{y}{D} \\
 \pi_4 &= \frac{S}{D} & \pi_9 &= \frac{y}{D} \\
 \pi_5 &= \frac{b}{D}
 \end{aligned}$$

Dari analisa dimensi di atas diperoleh grup tidak

Savonius rasio tinggi turbin berdimensi sebagai berikut:

- π_1 : *Coefficient of Power*
 π_2 : bilangan Reynolds
 π_3 : rasio diameter plat penghalang dengan diameter turbin Savonius
 π_4 : rasio jarak pusat penghalang parrarel terhadap arah aliran angindengan diameter turbin Savonius

π_5 : rasio diameter overlap turbin Savonius dengan diameter sudu turbin Savonius dengan diameter turbin Savonius

π_6 : rasio tinggi turbin angin dengan diameter turbin Savonius

π_7 : rasio kecepatan tip

π_8 : rasio ketinggian silinder penghalang dengan diameter sudu turbin Savonius

π_9 : rasio posisi silinder penghalang tegak lurus dengan datangnya aliran udara dengan diameter sudu turbin Savonius

3. Hubungan antara grup variabel yang tak berdimensi adalah:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9)$$

$$\frac{P}{\rho U^3 D^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{d}{D}, \frac{S}{D}, \frac{b}{D}, \frac{H}{D}, \frac{n D}{U}, \frac{t}{D}, \frac{y}{D}\right)$$

Dalam penelitian ini, $\frac{d}{D}, \frac{b}{D}, \frac{S}{D}, \frac{t}{D}$ dan $\frac{H}{D}$ merupakan variabel tetap. Sedangkan $\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{y}{D}$ dan $\frac{n D}{U}$ merupakan variabel yang divariasikan untuk diketahui pengaruhnya terhadap *coefficient of power* turbin angin Savonius, sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{P}{\rho U^3 D^2} = f_2\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{y}{D}, \frac{n D}{U}\right)$$

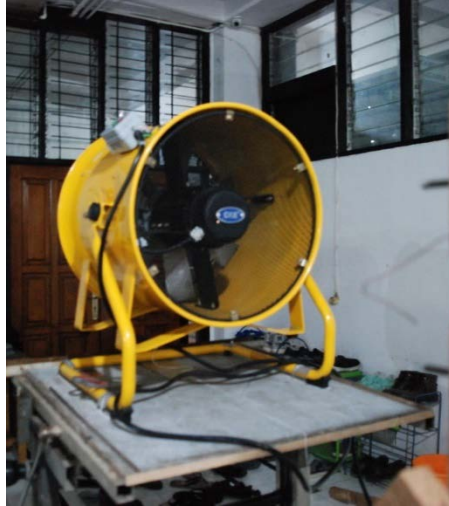
3.3 Peralatan

Untuk melakukan penelitian ini, dibutuhkan beberapa peralatan untuk menunjang pengambilan data eksperimen, antara lain:

3.3.1 Axial Fan

Pada penelitian ini Axial Fan digunakan sebagai penghasil kecepatan angin yang dapat memutar sudu turbin angin Savonius. Axial Fan yang digunakan adalah **CKE SPV-18** seperti pada gambar 3.2. Axial Fan diletakkan sejauh 3 m di depan turbin angin

Savonius seperti pada gambar 3.4. Kecepatan maximal adalah sebesar 13 m/s. Spesifikasi dari Axial Fan ini dapat dilihat pada tabel 3.2



Gambar 3.3 Axial Fan CKE SPV-18

Tabel 3.2 Spesifikasi Axial Fan CKE SPV-18

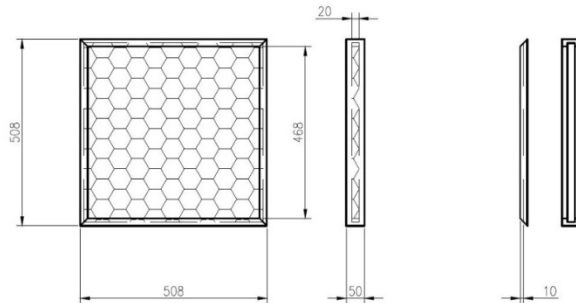
Specification	
Diameter	450 mm
RPM	2850
Air Flow	2,09 m ³ /s
Phase	1

3.3.2 Honeycomb

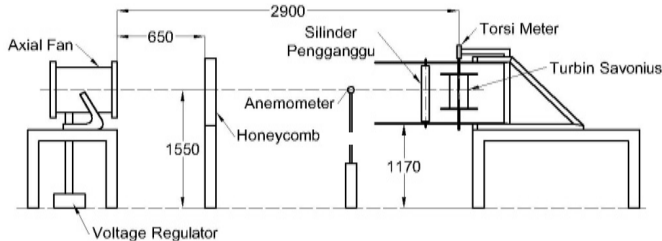
Pada penelitian ini, *honeycomb* digunakan untuk menyeragamkan aliran angin menuju turbin angin Savonius dan mencegah terjadinya *swirl*. *Honeycomb* diletakkan di antara *Axial Fan* dengan turbin angin Savonius seperti pada gambar 3.4.

Honeycomb yang digunakan berbentuk persegi dengan sket seperti gambar 3.4 dan mempunyai dimensi sebagai berikut:

- Panjang sisi *frame* : 508 mm
- Panjang sisi *honeycomb* : 468 mm
- Tebal *frame* : 50 mm
- Tebal *honeycomb* : 20 mm
- *Meshing size* : 16 lubang/in²



Gambar 3.4 Honeycomb yang Digunakan dalam Penelitian



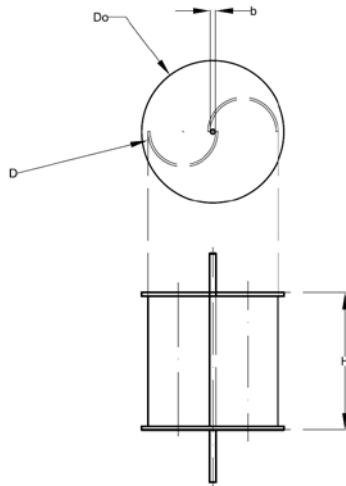
Gambar 3.5 Skema Instalasi Axial Fan, Honeycomb dan Plat Penghalang Terhadap Turbin Savonius

3.3.3 Turbin Savonius

Skema turbin angin Savonius yang ditunjukkan pada gambar 3.5 memiliki dimensi sebagai berikut:

- Diameter sudu turbin (D) : 165,2 mm
- Tinggi (H) : 294,4, mm
- Diameter poros (b) : 19 mm
- Diameter end plate (Do) : 321 mm

- Tebal end plate : 1.6 mm
- Berat : 1,6 Kg



Gambar 3.6 Skema Turbin Savonius

3.3.4 Silinder Penghalang

Skema plat penghalang yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.6 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Diameter (D) : 32,2 mm
- Tinggi (h) : 500 mm

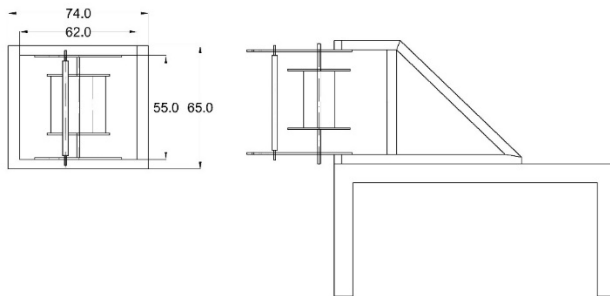
- Posisi penghalang tegak lurus terhadap aliran angin (y) : 0 , 38 mm, dan 76 mm



Gambar 3.7 Skema dimensi penghalang

3.3.5 Penyangga Turbin Angin Savonius

Dalam melakukan penelitian ini, turbin angin Savonius dan plat penghalang diletakkan pada suatu penyangga seperti pada gambar 3.7



Gambar 3.0.8 Skema dimensi penyangga

3.3.6 Alat Ukur

Pada penelitian ini digunakan alat ukur untuk mendapatkan nilai putaran dan torsi yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius

a. Anemometer

Anemometer adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran angin. Anemometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah anemometer model **Omega HHF141**

seperti pada gambar 3.9 dengan *high resolution* 0,01 m/s. Spesifikasi dari anemometer ini dapat dilihat pada tabel 3.3



Gambar 3.9 Anemometer Omega HHF141

Tabel 3.3 Spesifikasi Omega HHF141

Range	2,75 inch Air Probe	: 40 to 7800 ft/min : 0.2 to 40.00 m/sec
	Air Probe AP100	: 300 to 6800 ft/min : 1.5 to 35.00 m/sec
Accuracy	Air Velocity	AP275: $\pm 1.0\%$ of reading ± 1 digit AP100: $\pm (0.50\%$ of F.S. $+0.75\%$ of reading $+1$ digit
Resolution	1 ft/min or 0.01 m/sec	
Operating Temperature	Instrument	: 32° to 125°F (0° to 50°C)
	Probes	: -4° to 212°F (-20° to 100°C)
Power Supply	3 AA alkaline batteries	
Battery Life	Approx. 150 hours, without backlight	
Battery Check	Automatic Low Battery display	
Display	0.5" LCD, 4 digits, with LED backlight	

b. Tachometer

Tachometer adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek yang berputar. Tachometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Economical Non-Contact Pocket Optical Tachometer* **OMEGA**

seri **HHT12** seperti pada gambar 3.8 dengan akurasi pembacaan 0.01%. Spesifikasi tachometer dapat dilihat pada tabel 3.4.



Gambar 3.10 Tachometer OMEGA seri HHT12
Tabel 3.4 Spesifikasi Tachometer

SPECIFICATIONS	
Range	5 to 99.999 rpm
Accuracy	0,01 % of reading or ± 1 digit
Resolution	0,001 to 1,0 rpm
Display	5-digit alphanumeric LCD
Memory	Max, min and last
Power	2 "AA" 1,5 V dc batteries
Environmental	5 to 40° C

c. *Voltage Regulator*

Untuk mengatur kecepatan putar dari fan dapat digunakan *Voltage Regulator*. *Voltage Regulator* yang digunakan adalah **Ling Bridge TDGC 2J-3** seperti gambar 3.11 Untuk mengatur kecepatannya di *Voltage Regulator* dengan mengubah voltage

output dari regulator. Untuk spesifikasi lengkapnya dapat di lihat di tabel 3.5.



Gambar 3.11 Ling Bridge TDGC 2J-3 voltage regulator

Tabel 3.5 Spesifikasi Ling Bridge TDGC 2J-3

TDGC 2J-3				
Capacity	Phase	Input	Ouput	Max output Current
3 KVa	$\Phi 1$	110/220 V	0-250 V	4,8/12 A

d. Torque meter Statis

Torque meter adalah alat ukur yang berfungsi untuk mengukur torsi dari suatu objek. Torque meter yang digunakan dalam penelitian ini adalah torque meter **LUTRON** model **TQ-8800** seperti pada gambar 3.10 dengan *high resolution* 0,1 Newton-cm. Spesifikasi torque meter ini dapat dilihat pada tabel 3.6.



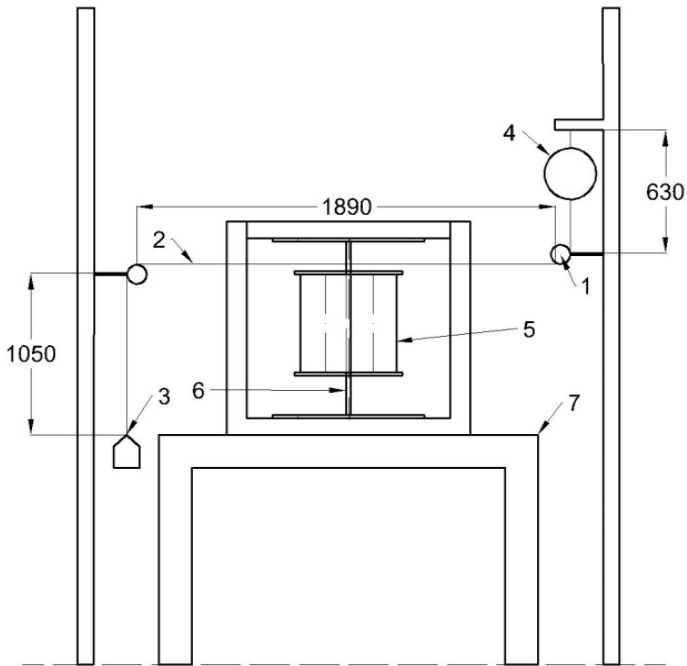
Gambar 3.12 Torque meter LUTRON model TQ-8800

Tabel 3.6 Spesifikasi Torque meter LUTRON model TQ-8800

Display Unit/ Resolution				
Unit	Max. range	High resolution	Low resolution	Over load protection range
kg-cm	15 kg-cm	0,01 kg-cm	0,1 kg-cm	22,5 kgf-cm max
Lb-inch	12,99 Lb-inch	0,01 Lb-inch	0,1 Lb-inch	19,53 Lbf-inch max
N-cm	147,1 N-cm	0,1 N-cm	1 N-cm	220,1 N-cm max

e. Brake Dynamometer

Pengukuran torsi dinamis pada eksperimen ini digunakan Brake dynamometer dengan timbangan sebagai spring balance. Skema pemasangan brake dynamometer adalah sebagai berikut:



Gambar 3.13 Gambar Skema Brake dynamometer

Keterangan Gambar 3.13 :

1. Sistem *pulley*
2. Benang nilon LAZER
3. Massa pemberat
4. Neraca pegas
5. Turbin angin Savonius
6. Poros turbin angin Savonius
7. Struktur penyangga turbin angin Savonius

Procedur pengukuran dengan menggunakan Brake Dynamometer adalah pertama benang nylon dipasang melingkari poros turbin angin savonius. benang nylon yang digunakan adalah benang nylon merk Lazer. Pada saat turbin angin berputar, benang akan di taruh pemberat untuk menurunkan putaran porosnya. Saat

menambahkan akan dicatat putaran porosnya dan pembacaan pada spring balance. Penambahan berat akan terus dilakukan hingga turbin angin berhenti berputar. Spesifikasi benang dan spring balance adalah sebagai berikut:



Gambar 3.14 Nercaca Pegas NAGATA tipe C-5

Tabel 3.7 Spesifikasi Neraca Pegas NAGATA tipe C-5

Specification NAGATA type C-5	
Capacity	10 kg
Graduation	50 gram
Features	High impact ABS body
Platter Size	Pan size : Ø 290 mm Alum. Round pan Dual display chart, Dial 187 mm



Gambar 3.0.15 Benang Nylon LAZER

Tabel 3.8 Spesifikasi Benang Nylon Lazer

Spesifikasi Benang nylon LAZER	
Kekuatan	40 lbs; 20 kg
Diameter	0,60 mm

Pelumas digunakan untuk melumasi bearing pada turbin angin Savonius agar efek gesekan yang terjadi pada bearing. Pelumas yang digunakan mempunyai spesifikasi seperti berikut:



Gambar 3.16 Pelumas WD 40

Tabel 3.9 Spesifikasi WD 40

Code	M6271
Name	WD-40 <i>Multi-Use Product</i>
Type	Lubricant 191 ML/155 G/6.5 FL. OZ.
Weight	0.3 Kg

Bearing yang digunakan pada eksperimen ini berjenis *single row ball bearing*. Bearing bertujuan untuk meringankan gesekan poros dengan rangka. Spesifikasi bearing yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.17 Ball bearing

Tabel 3.10 Spesifikasi Ball bearing

Jenis Bearing	<i>Single Row ball Bearing</i>
Diameter dalam	12 mm
Diameter luar	32,25 mm
Tebal	10 mm

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data putaran dan torsi dinamis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

A. Torsi Dinamis

1. Mengatur peralatan dan benda uji yang akan digunakan sesuai dengan skema.
2. Menyalakan *axial fan* dan mengatur besar tegangan dengan menggunakan *voltage regulator* sehingga didapatkan nilai kecepatan angin sesuai dengan yang diharapkan.
3. Melakukan pengukuran temperatur dengan menggunakan termometer.

4. Mengukur kecepatan angin dengan menggunakan anemometer untuk memperoleh *Reynolds Number* yang diinginkan, yaitu $9,3 \times 10^4$.
5. Setelah memperoleh *Reynolds Number* dan *steady*, kemudian melakukan pengukuran terhadap kecepatan putaran poros tanpa massa pemberat dengan menggunakan *tachometer*.
6. Melakukan pengukuran torsi dinamis dengan *brake dynamometer* untuk mendapatkan daya yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius dengan langkah sebagai berikut:
 - i. Memberikan massa pemberat yang terhubung dengan neraca pegas sesuai dengan variasi massa yang telah ditentukan (untuk $Re = 9 \times 10^4$ sebesar 10gr; $Re = 13,8 \times 10^4$ sebesar 20gr; $Re = 16,8 \times 10^4$ sebesar 40gr).
 - ii. Mengukur massa yang terbaca pada timbangan pegas.
 - iii. Mengukur putaran turbin angin Savonius menggunakan *tachometer*
 - iv. Menghitung nilai torsi dinamis yang diperoleh dari selisih antara gaya yang dihasilkan dari massa pemberat dengan gaya yang dihasilkan pada timbangan pegas dikalikan jari-jari poros turbin angin Savonius.
 - v. Mengulangi langkah i – iv hingga turbin angin Savonius berhenti berputar.
 - vi. Memilih nilai CoP tertinggi yang dihasilkan dari perkalian antara torsi dinamis dengan putaran turbin dengan kondisi beban yang sama.
7. Mematikan *axial fan*.
8. Mengulangi langkah 2 sampai 7 dengan merubah variasi *Reynolds Number* menjadi $13,8 \times 10^4$ dan $16,8 \times 10^4$.
9. Meletakkan silinder pengganggu dengan mengatur jarak antara pusat silinder pengganggu dan pusat *returning blade* (S/D) sebesar 1,2 dengan rasio posisi silinder

pengganggu dalam arah tegak lurus arah datang angin terhadap diameter turbin angin Savonius (y/D) sebesar 0.

10. Mengulangi langkah 2 sampai 7 dengan variasi $y/D = 0$.
11. Mengulangi langkah 2 sampai 7 dengan mengubah variasi y/D menjadi 0,25 dan 0,5.
12. Mematikan *axial fan*.
13. Mengolah semua data yang diperoleh (putaran dan torsi dinamis) dan melakukan *plotting grafik*, perbandingan *coefficient of power* dengan dan tanpa silinder pengganggu terhadap λ , dan perbandingan *coefficient of moment* dengan dan tanpa silinder pengganggu terhadap λ .

B. Torsi Statis

1. Mengatur peralatan dan benda uji yang akan digunakan sesuai dengan skema.
2. Mengatur sudut bukaan sudu turbin angin Savonius sebesar 0° .
3. Menyalakan *axial fan* dan mengatur besar tegangan dengan menggunakan *voltage regulator* sehingga didapatkan nilai kecepatan angin sesuai dengan yang diharapkan.
4. Mengukur kecepatan angin dengan menggunakan anemometer untuk memperoleh *Reynolds Number* yang diinginkan, yaitu $9,0 \times 10^4$.
5. Setelah memperoleh *Reynolds Number* dan *steady*, kemudian melakukan pengukuran torsi statis dengan torquemeter.
6. Mematikan *axial fan*.
7. Mengulangi langkah 2 sampai 6 dengan variasi sudut sudu turbin angin Savonius sampai 180° dengan kenaikan sudut 10° .
8. Mengulangi langkah 2 sampai 7 dengan merubah variasi *Reynolds Number* menjadi $13,8 \times 10^4$ dan $16,8 \times 10^4$.
9. Meletakkan silinder pengganggu dengan mengatur jarak antara pusat silinder pengganggu dan pusat *returning blade* (S/D) sebesar 1,2 dengan rasio posisi silinder pengganggu

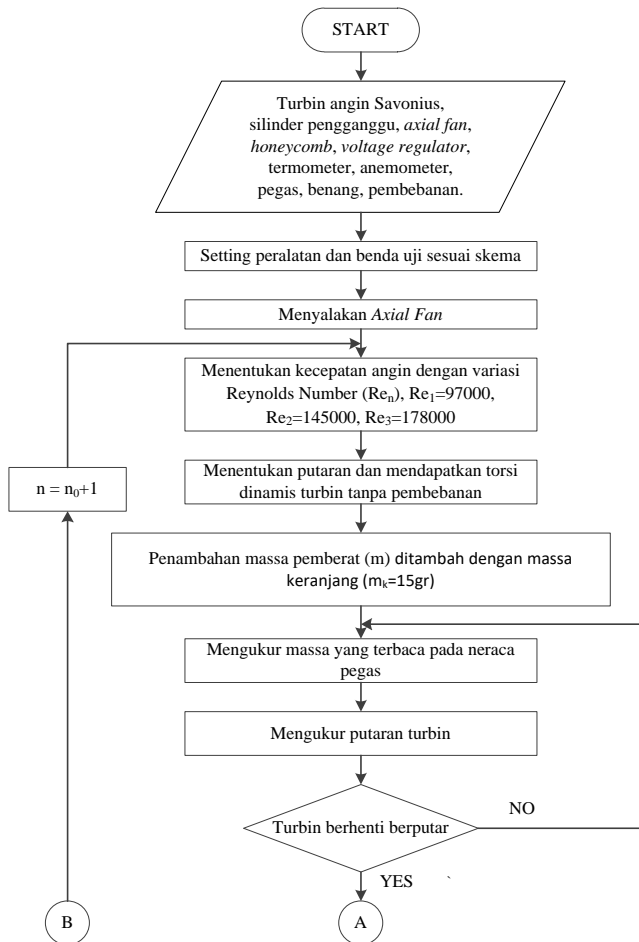
dalam arah tegak lurus arah datang angin terhadap diameter turbin angin Savonius (y/D) sebesar 0,5.

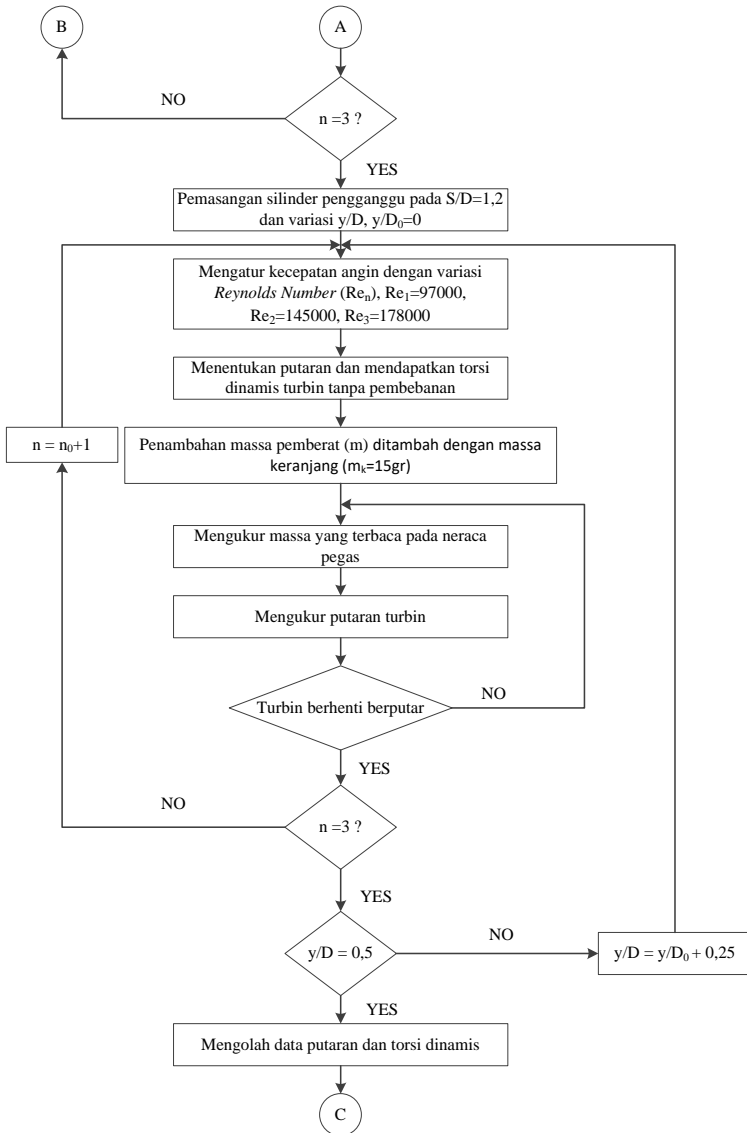
10. Mengulangi langkah 2 sampai 8 dengan penggunaan silinder pengganggu pada y/D sebesar 0,5.
11. Mengolah data torsi statis yang diperoleh dan melakukan *plotting* grafik, perbandingan torsi statis dengan dan tanpa silinder pengganggu terhadap θ .

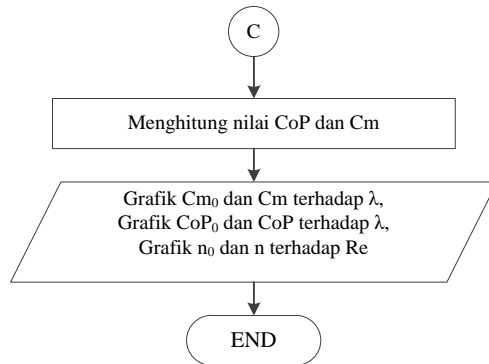
3.5 Flowchart penelitian

3.5.1 Flowchart Putaran dan Torsi Dinamis

Urutan langkah yang akan dilakukan dalam menentukan putaran dan torsi dinamis pada penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:



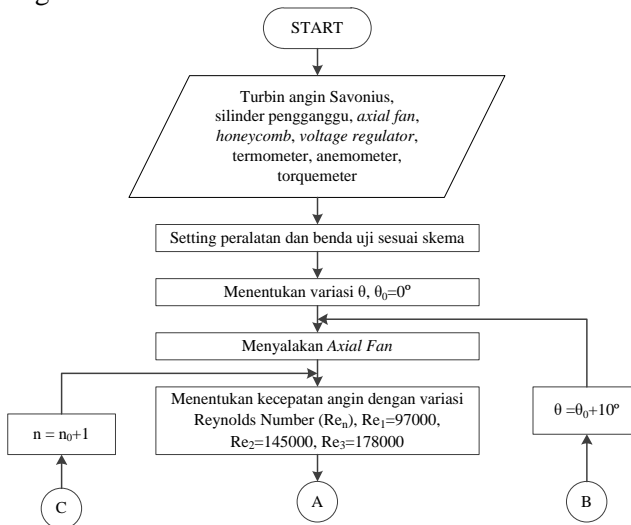


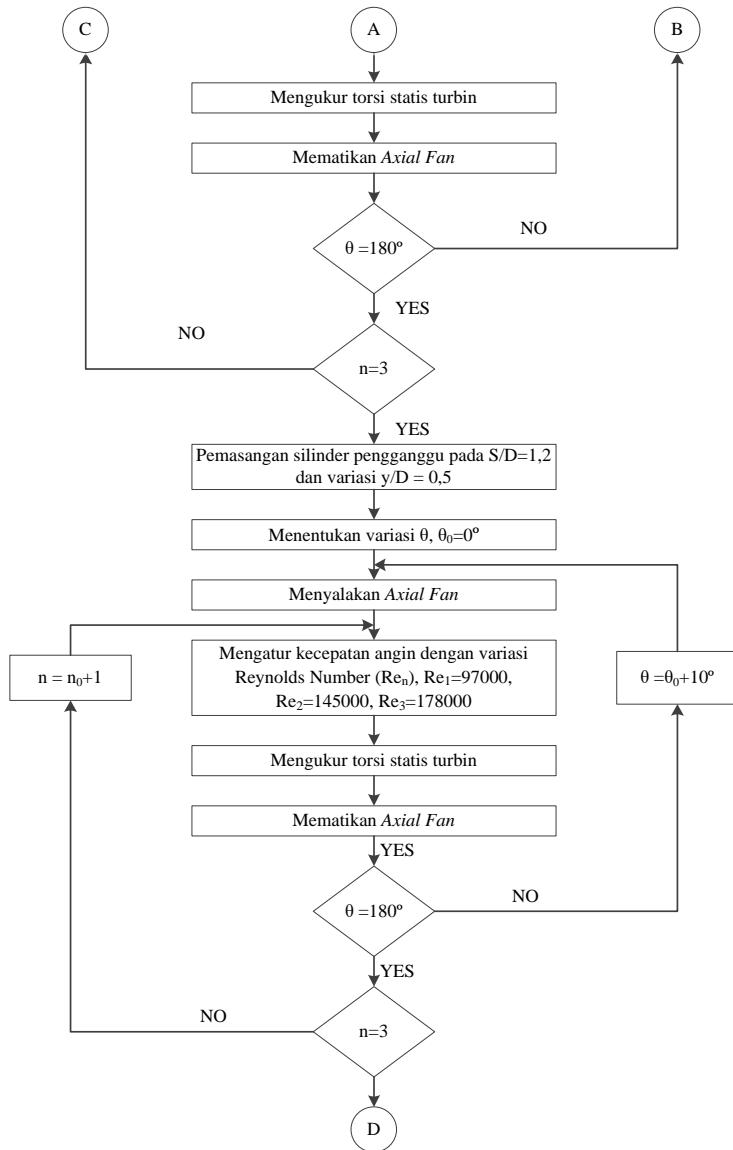


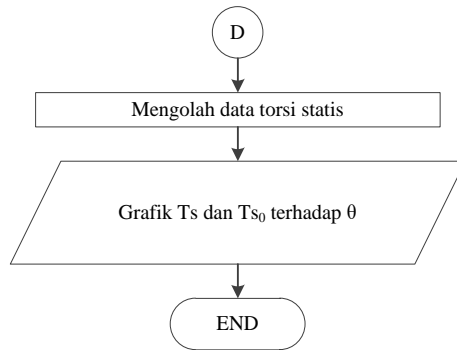
Gambar 3.18 Flowchart penelitian

3.5.2 Flowchart Torsi Statis

Urutan langkah yang akan dilakukan dalam menentukan torsi statis pada penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:







Gambar 3.19 Flowchart Torsi Statis

3.6 Hasil yang akan Dicapai

Hasil yang akan dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Grafik putaran (n dan n_0) sebagai fungsi bilangan *Reynolds*
2. Grafik torsi statis (**T_s dan T_{s_0}**) sebagai fungsi sudut (θ).
3. Grafik *Coefficient of Power* (**CoP dan CoP_0**) sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* (λ).
4. Grafik *Coefficient of Moment* (**C_m dan C_{m_0}**) sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* (λ).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dari hasil studi eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan beberapa data yang menunjukkan pengaruh pemberian silinder penghalang didepan *returning blade* turbin angin *Savonius* terhadap performa. Variasi yang digunakan berupa bilangan Reynolds dan jarak silinder penghalang terhadap turbin angin yang tegak lurus terhadap arah datangnya angin. Data yang diperoleh dari eksperimen ini adalah torsi statis dan torsi dinamis. Yang kemudian data ini dijadikan *coefficient of power (CoP)* dan *Coefficient of moment (CM)* turbin angin berpenghalang dan tanpa penghalang.

4.1 Data Penelitian dan Contoh Perhitungan

Dalam pengambilan data pada studi eksperimen ini menggunakan fluida kerja udara dengan asumsi *steady* , aliran *incompressible* dengan properties fluida sebagai berikut:

- Tekanan absolut udara dalam keadaan standart (P_{std}) = $1,01325 \text{ N/m}^2$.
- Temperatur udara dalam keadaan standar (T_{std}) = $288,3 \text{ K}$
- Temperatur udara pada saat uji eksperimen adalah (T) = $301,2 \text{ K}$
- Massa jenis udara dalam keadaan standar (ρ_{std}) = $1,1772 \text{ kg/m}^3$)

Data tersebut akan digunakan dalam perhitungan. Contoh :4.1.1 Perhitungan Bilangan *Reynolds*

- **Massa Jenis Udara (ρ)**

Dari persamaan gas ideal didapatkan :

$$PV = mRT$$

Dengan membagi dua ruas dengan m , maka persamaan

$$4.1 \text{ menjadi } P \frac{V}{m} R T ,$$

dengan $\frac{V}{m}$ adalah ρ maka menjadi $\frac{P}{\rho} = R T$

Maka :

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (4.1)$$

Dimana :

ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

P : tekanan udara : 101325 Pa

R : konstanta spesifik gas = 287,058 J/kg.K

T : temperature saat penelitian = 301,2 K

Maka :

$$\rho = \frac{101325 \text{ Pa}}{287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} 301,2 \text{ K}} = 1,172 \text{ kg/m}^3$$

- **Viskositas Udara**

Untuk mendapatkan viskositas udara dapat digunakan persamaan Sutherland:

$$\mu = \frac{b T^{3/2}}{S + T} \quad (4.2)$$

Untuk udara b adalah $1,458 \times 10^{-6} \text{ kg/m.s.K}^{1/2}$ Dan S adalah 110,4 K. Dengan menggunakan temperature saat melakukan uji eksperimen yaitu 300,3 K. maka viskositas udara sama dengan :

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1,458 \times 10^{-6} 301,2^{3/2}}{110,4 + 301,2} \\ &= 1,846 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- **Kecepatan Udara (U)**

Bedasarkan persamaan Bilangan *Reynolds* didapatkan bahwa :

$$U = \frac{Re \times \mu}{\rho \times L}$$

dimana :

L = Panjang karakteristik turbin angin Savonius

$$L = 2D - b = (2 \times 165,4 \text{ mm}) - 19 \text{ mm} = 303,4 \text{ mm}$$

$$Re = 9 \times 10^4$$

Maka kecepatan :

$$U = \frac{9,7 \times 10^4 \times 1,846 \times 10^{-5}}{1,1772 \times 0,3034} = 5,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.1.2 Perhitungan *Tip Speed Ratio* (TSR)

Bedasarkan persamaan didapatkan bahwa :

$$\lambda = \frac{\omega R}{U}$$

Dimana:

- ω : kecepatan radial turbin = $\frac{2\pi n}{60}$ (rad/s)
- n : kecepatan putar turbin (rpm)

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times 353,1 \text{ rpm}}{60} = 36,95 \text{ rad/s}$$
- R : jari jari sudu turbin angin savonius = $L/2 = 145,5$ mm
- U : kecepatan udara = 5,01 m/s

Maka didapatkan TSR:

$$TSR = \frac{36,95 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0,1455 \text{ m}}{5,01 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,077$$

4.1.3 Perhitungan Coefficient of Power

- Torsi Dinamis

$$\tau = \{(s - m)g\} \times r$$

Dimana :

S : massa yang terbaca pada pegas (Kg)

m : massa beban (kg)

g : gravitasi (m/s^2)

r : jari jari poros tempat menerima beban (m)

maka didapatkan nilai torsi dinamis sebesar :

$$T = \left\{ \left(\frac{550 - 40}{1000} \right) \cdot 9,81 \right\} \times \frac{0,085}{1000} = 0,0925 \text{ N.m}$$

- **Coefficient of power (CoP)**

Persamaan dari *Coefficient of Power* adalah sebagai berikut :

$$CoP = \frac{T\omega}{\frac{1}{2}\rho U^3 A}$$

Dimana :

A : luas permukaan turbin angi savonius yang terpapar angin

$$A = L \times H = 0,3034 \text{ m} \times 0,2944 \text{ m} = 0,08932 \text{ m}^2$$

U : Kecepatan udara free stream (m/s)

ρ : densitas udara pada saat uji eksperimen (kg/m^3)

ω : kecepatan radial turbin (rad/s)

τ : torsi dinamis (Nm)

Maka nilai CoP didapatkan:

$$CoP = \frac{0,0925 \text{ Nm} \cdot 36,95 \text{ rad/s}}{\frac{1}{2} \cdot 1,177 \text{ kg/m}^3 \cdot (5,1 \text{ m/s})^3 \cdot 0,08754 \text{ m}^2} = 2,26 \%$$

4.1.4 Perhitungan Coefficient of Moment

Persamaan Coefficient of moment :

$$CM : \frac{2T}{\rho U^2 AR}$$

T : Torsi Dinamis = 0,0925 N.m

ρ : Massa jenis udara = 1,172 Kg/m^3

- U : Kecepatan Udara = 5,1 m/s
 R : Jari-jari turbin angin savonius = 0,1459 m
 A : Luasan yang terkena angin = 0,8754 m²

$$CM : \frac{2 \times 0,0925 \text{ N.m}}{1,172 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 5,1^2 \times 0,8754 \text{ m}^2 \times 0,1517 \text{ m}} = 0,0475$$

4.2 Analisa Turbin Angin Savonius Tanpa penghalang dengan Variasi Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$

Hasil studi eksperimen turbin angin savonius tanpa penghalang dengan variasi bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$ akan dibahas pada sub bab ini. Pengukurang performa turbin angin tanpa penghalang dilakukan untuk mengetahui performa awal dari turbin yang selanjutnya akan dibandingkan dengan data hasil eksperimen dengan penghalang. Analisa yang akan dibahas meliputi, putaran maksimal turbin terhadap bilangan Reynolds, torsi statis, coefficient of moment, TSR dan coefficient of performance yang dihasilkan turbin. Data yang telah didapatkan ditunjukkan pada tabel 4.1

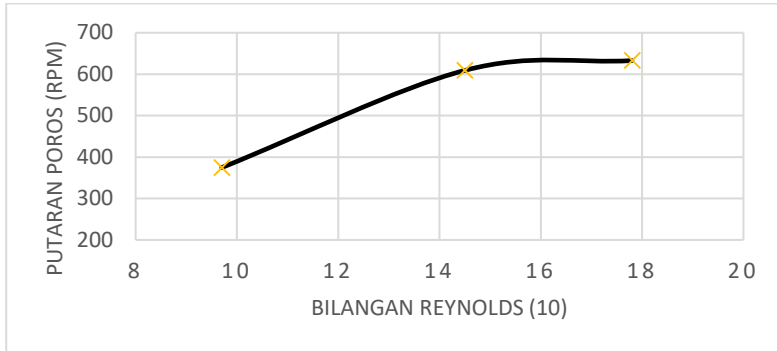
Tabel 4.1 Data turbin angin Savonius Tanpa Penghalang Silinder

Bilangan Reynolds	n _o MAX(RPM)	Ts _o (N.cm)	CoP _o Max (%)	λ (Pada CoP _o Max)	CM _o Max (%)	λ (Pada CM _o Max)
$9,7 \times 10^4$	374,9	2,3	15,4	0,90	0,3	0,13
$14,5 \times 10^4$	609,488	6,56	13,3	0,88	0,23	0,05
$17,8 \times 10^4$	632,26	7,88	8,5	0,61	0,19	0,19

4.2.1 Analisa Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds

Pengujian Turbin savonius tanpa penghalang diawali dengan pengukuran putaran poros. Data putaran poros didapatkan dengan menggunakan Tachometer. Pengukuran dilakukan pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Data yang

didapatkan adalah putaran poros dalam bentuk RPM. Dari data putaran poros didapatkan seperti berikut:



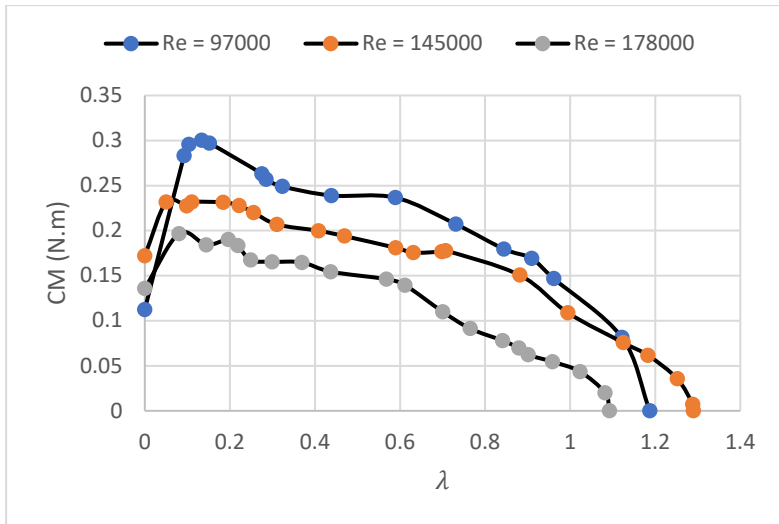
Gambar 4.1 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds

Dari gambar 4.1, trendline grafik naik seiring dengan naiknya bilangan Reynolds. Nilai tertinggi berada pada Bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ dengan nilai putaran poros 632,9 RPM. Sedangkan nilai terendah berada pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ dengan nilai 374,9 RPM.

Hal ini dikarenakan semakin tinggi bilangan Reynolds, maka kecepatan angin akan semakin tinggi. Dan akan menyebabkan gaya drag yang tinggi. Ketika gaya drag tinggi maka putaran turbin akan semakin tinggi.

4.2.2 Analisa Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio

Dari Pengukuran Torsi dinamis dengan menggunakan Brake dynamometer, dapat dianalisa untuk mendapatkan Coefficient of Moment. Coefficient of Moment adalah perbandingan antara Torsi dinamis hasil dari turbin angin Savonius dengan torsi yang dihasilkan oleh energy angin. Percobaan menggunakan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Dari hasil pengukuran didapatkan grafik seperti berikut



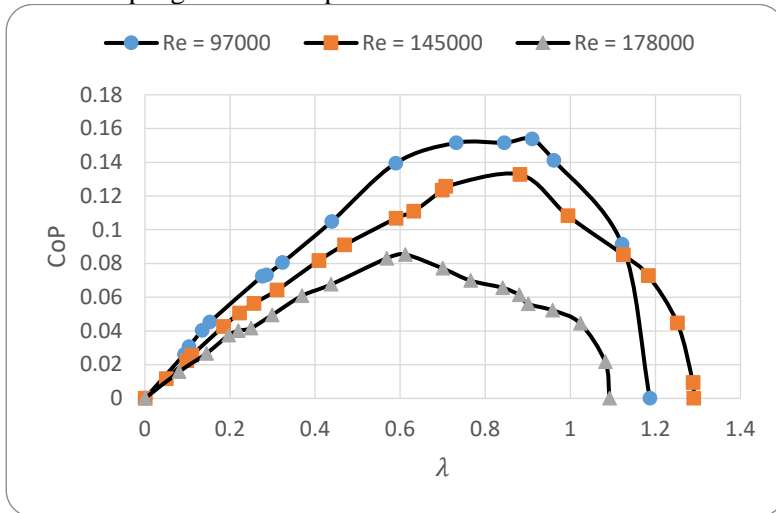
Gambar 4.2 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio tanpa Penghalang.

Dari Grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi TSR, maka nilai CM akan semakin rendah. Nilai CM maksimum terbesar berada pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ dengan nilai = 0,297. Sedangkan Nilai CM maksimum terendah berada pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ dengan nilai = 0,196. Nilai CM akan meningkat seiring dengan bilangan Reynolds hingga titik optimum. Titik optimumnya pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$.

Nilai CM turun seiring dengan kenaikan bilangan Reynolds. Hal ini dikarenakan turbin angin efisien di bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$. Pada bilangan Reynolds tinggi, kecepatan angin tinggi yang menyebabkan turbin angin savonius berputar dengan sangat cepat. Tetapi jika turbin berputar semakin cepat, maka turbin angin seolah olah membentuk solid wall. Nilai CM tertinggi berada pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ hal ini membuktikan nilai CoP tertinggi pada kecepatan rendah.

4.2.3 Analisa Coefficient of Power terhadap TSR.

Dari hasil pengujian eksperimen turbin Savonius tanpa penghalang didapatkan data CoP terhadap TSR. Bilangan Reynolds yang dipakai adalah $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Pengukuran Torsi Dinamis menggunakan Brake Dynamometer. Dari hasil pengukuran didapatkan Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio

Dari grafik diatas didapatkan Nilai CoP akan semakin tinggi seiring dengan naiknya Bilangan Reynolds. Tetapi akan turun pada saat melebihi titik optimumnya. Nilai CoP maximum terdapat pada Bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ dengan nilai 15,3%. Nilai CoP Maximum terendah ada pada Bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ dengan nilai 8,5% .

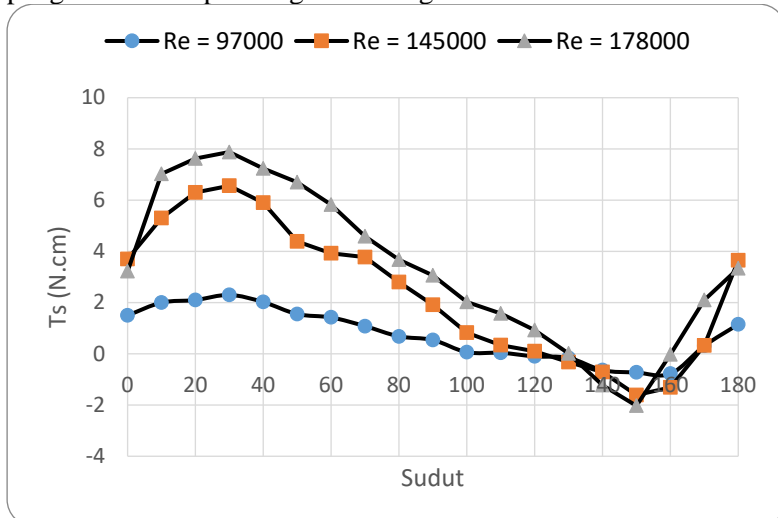
Pada Bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ turbin dapat berputar pada Tip Speed Ratio Maksimum 1,18 sedangkan nilai CoP maximumnya terdapat pada Tip Speed Ratio = 0,9 dengan nilai 15,38%. Pada Bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$ berputar dengan Tip Speed Ratio Maksimum 1,28, nilai CoP Maksimum berada pada nilai Tip Speed Ratio = 0,88 dengan nilai CoP 13,27%. Pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ turbin memiliki Tip Speed Ratio

tertinggi sebesar 1,09, nilai CoP maksimum jatuh pada Tip Speed Ratio = 0,61 dengan nilai 8,53%.

Dikarenakan Nilai CoP maximum tertinggi pada bilangan Reynolds = 9×10^4 , maka turbin angin Savonius ini lebih efisien digunakan pada kecepatan 5,01 m/s. Pada bilangan Reynolds $13,8 \times 10^4$ terjadi penurunan nilai CoP. Hal ini dikarenakan meningkatnya kecepatan angin akan membuat putaran turbin semakin cepat dan turbin akan membentuk seperti solid wall dimana fluida tidak dapat mencapai sudu turbin. Sehingga daya turbin yang dihasilkan lebih rendah.

4.2.4 Torsi Statis terhadap Sudut Sudu Turbin

Dengan menggunakan alat ukur torsi statis Lutron TQ 8800 didapatkan data Torsi statis tanpa penghalang. Pengukuran dilakukan pada saat sudu turbin berada pada sudut 0° hingga 90° terhadap arah datangnya angin. Bilangan Reynolds yang digunakan adalah 9×10^4 , $13,8 \times 10^4$ dan $16,8 \times 10^4$. Dari hasil pengukuran didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.4 Grafik Torsi Statis terhadap sudut

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai dari torsi statis akan meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds. Nilai torsi statis minimum terendah berada pada bilangan Reynolds $= 16,8 \times 10^4$ dengan nilai $= -2,03 \text{ N.cm}$ pada sudut 150° . Dan nilai tertinggi pada bilangan Reynolds $= 16,8 \times 10^4$ dengan nilai $7,8 \text{ N.cm}$ pada sudut 30° . Bilangan Reynolds $= 16,8 \times 10^4$ mempunyai nilai tertinggi dan terendah dikarenakan semakin tinggi bilangan Reynolds, maka kecepatan angin yang mengenai turbin akan semakin tinggi. Dan hal ini akan menyebabkan gaya drag pada turbin semakin tinggi.

Sudut 30° mempunyai nilai tertinggi pada semua variasi Reynolds number. Sedangkan sudut 150° mempunyai nilai terendah. Pada sudut 30° mempunyai nilai terendah diduga karena pada sudut tersebut nilai gaya drag *Advancing blade* lebih tinggi dibandingkan pada *returning blade* serta terdapat gaya lift yang searah dengan gaya drag *advancing blade*. Pada sudut 150° derajat gaya drag pada *advancing blade* lebih rendah dibandingkan pada *returning blade* serta diduga gaya lift yang terjadi berlawanan arah dengan gaya drag *advancing blade* sehingga menghasilkan nilai negatif. Hal ini akan menghasilkan drag yang lebih rendah yang akan menghasilkan daya yang kecil.

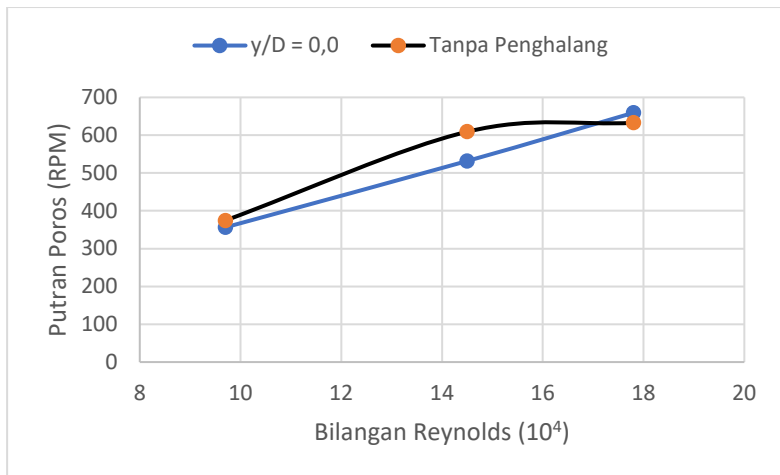
4.3 Analisa Performa Turbin angin Savonius Dengan Penghalang.

Setelah melakukan analisa performa turbin tanpa penghalang dilakukan analisa performa turbin dengan penghalang. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ditambahnya penghalang didepan *returning blade*. Silinder penghalang diletakkan pada jarak $S/D = 1,2$ dan variasi $y/D = 0,0; 0,25; 0,5$. Dan variasi bilangan Reynolds yang digunakan 9×10^4 , $13,8 \times 10^4$ dan $16,8 \times 10^4$.

4.3.1 Komparasi Putaran Poros Turbin Angin Savonius Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang

4.3.1.1 Komparasi Putaran Poros Turbin Angin Savonius Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,0$

Putaran poros pada eksperimen diukur menggunakan tachometer. Pengukuran dilakukan pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$ dengan posisi silinder penghalang $y/D = 0$ dan Tanpa Penghalang. Data yang didapatkan dalam RPM. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5 Grafik putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds Pada Turbin tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada posisi $y/D = 0,0$.

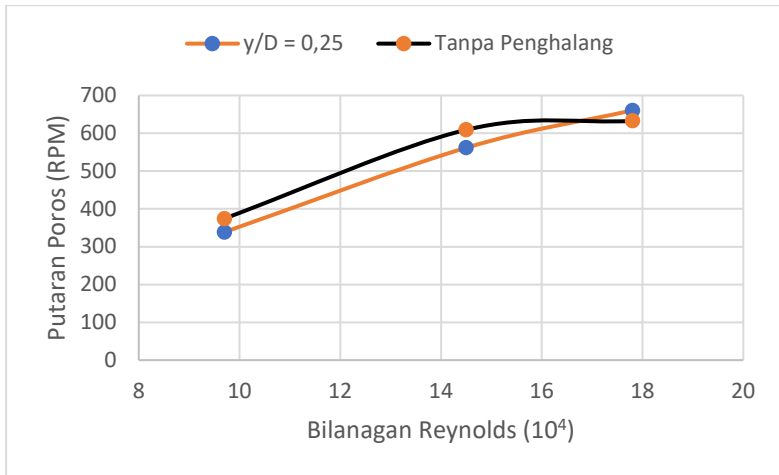
Gambar 4.5 merupakan grafik hubungan antara putaran poros terhadap bilangan Reynolds dengan variasi y/D . dari grafik nilai tertinggi terdapat pada Turbin berpenghalang pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ dengan nilai 659,3 RPM. Nilai terendah ada pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ dimiliki oleh turbin tanpa penghalang dan turbin dengan penghalang. Nilai putaran porosnya sebesar 356,4 RPM.

Putaran poros pada turbin tanpa penghalang seiring dengan naiknya bilangan Reynolds meningkat. Nilai Tertingginya berada pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ yaitu sebesar 632. RPM Sedangkan nilai terendahnya berada pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ sebesar 374 RPM. Sedangkan Turbin dengan penghalang mempunyai nilai tertinggi pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ dengan nilai 659,3 RPM. Nilai terendahnya berada pada Bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ dengan nilai 356,4 RPM.

Pada Bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$, nilai putaran poros pada turbin berpenghalang dan tanpa penghalang mempunyai nilai yang sama. Hal ini menandakan bahwa penambahan silinder pengganggu pada posisi $y/D = 0,0$ tidak mempengaruhi nilai putaran poros pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ Pada Bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$ nilai putaran poros tanpa penghalang lebih tinggi dibandingkan dengan berpenghalang. Hal ini diduga pada posisi $y/D = 0,0$ aliran udara kearah advancing blade terhambat dan hal ini menyebabkan nilai drag pada advancing blade lebih rendah dibandingkan tanpa penghalang dan menyebabkan putarannya lebih rendah. Pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ nilai putaran poros turbin berpenghalang memiliki nilai yang sedikit lebih tinggi dari pada tanpa penghalang. Penempatan silinder pengganggu tidak terlalu efektif dikarenakan kenaikan yang tidak signifikan.

4.3.5.2 Komparasi Putaran Poros Turbin Angin Savonius Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,25$

Putaran poros pada eksperimen diukur menggunakan tachometer. Pengukuran dilakukan pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$ dengan posisi silinder penghalang $y/D = 0,25$ dan Tanpa Penghalang. Data yang didapatkan dalam RPM. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6 Grafik putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds Pada Turbin tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada posisi $y/D = 0,25$.

Gambar 4.5 merupakan grafik hubungan antara putaran poros terhadap bilangan Reynolds dengan variasi y/D . dari grafik nilai tertinggi terdapat pada Turbin berpenghalang pada bilangan Reynolds $16,8 \times 10^4$ dengan nilai 660,73 RPM. Nilai terendah ada pada bilangan Reynolds 9×10^4 dimiliki oleh turbin dengan penghalang dengan nilai putaran porosnya sebesar 338 RPM.

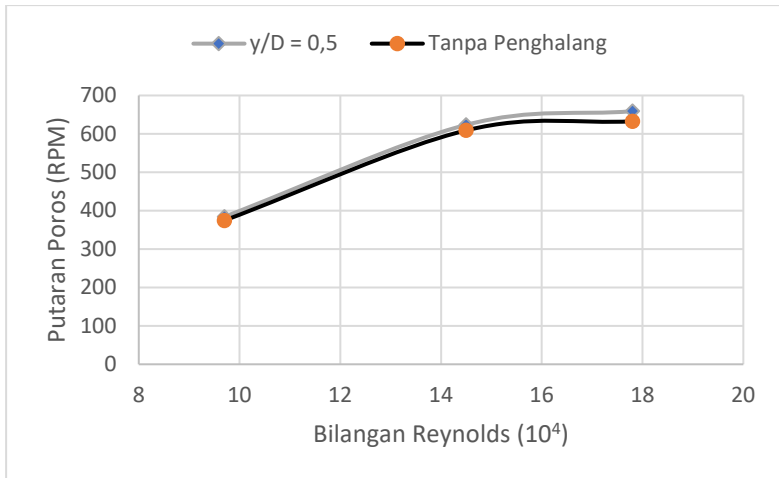
Putaran poros pada turbin tanpa penghalang seiring dengan naiknya bilangan Reynolds meningkat. Nilai Tertingginya berada pada bilangan Reynolds $16,8 \times 10^4$ yaitu sebesar 632 RPM Sedangkan nilai terendahnya berada pada bilangan Reynolds 9×10^4 sebesar 374 RPM. Sedangkan Turbin dengan penghalang mempunyai nilai tertinggi pada bilangan Reynolds $16,8 \times 10^4$ dengan nilai 660,73 RPM. Nilai terendahnya berada pada Bilangan Reynolds 9×10^4 dengan nilai 338 RPM.

Pada Bilangan Reynolds 9×10^4 , nilai putaran poros pada turbin berpenghalang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penghalang. Hal ini menandakan bahwa penambahan silinder pengganggu pada posisi $y/D = 0,25$ tidak efektif pada bilangan

Reynolds 9×10^4 . Turunnya putaran poros dengan penambahan silinder dapat dikarenakan aliran fluida ke advancing blade berkurang sehingga nilai gaya drag pada advancing blade lebih rendah dari pada tanpa penghalang. Pada Bilangan Reynolds $13,8 \times 10^4$ nilai putaran poros tanpa penghalang lebih tinggi dibandingkan dengan berpenghalang. Hal ini diduga pada posisi $y/D = 0,25$ aliran udara ke arah advancing blade terhambat dan hal ini menyebabkan nilai drag pada advancing blade lebih rendah dibandingkan tanpa penghalang dan menyebabkan putarannya lebih rendah. Pada bilangan Reynolds $16,8 \times 10^4$ nilai putaran poros turbin berpenghalang memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada tanpa penghalang. Penempatan silinder pengganggu efektif. Hal ini dapat dikarenakan gaya drag pada returning blade lebih rendah dari tanpa penghalang dan menyebabkan resultan gaya drag lebih tinggi sehingga putaran poros semakin lebih tinggi dibandingkan tanpa penghalang.

4.3.1.3 Komparasi Putaran Poros Turbin Angin Savonius Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,5$

Putaran poros pada eksperimen diukur menggunakan tachometer. Pengukuran dilakukan pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$ dengan posisi silinder penghalang $y/D = 0,5$ dan Tanpa Penghalang. Data yang didapatkan dalam RPM. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7 Grafik putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds Pada Turbin tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada posisi $y/D = 0,5$.

Gambar 4.6 merupakan grafik hubungan antara putaran poros terhadap bilangan Reynolds dengan variasi y/D . dari grafik nilai tertinggi terdapat pada Turbin berpenghalang pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ dengan nilai 659,9 RPM. Nilai terendah ada pada bilangan Reynolds = $9,3 \times 10^4$ dimiliki oleh turbin tanpa penghalang pada posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai putaran porosnya sebesar 374 RPM.

Putaran poros pada turbin tanpa penghalang seiring dengan naiknya bilangan Reynolds meningkat. Nilai Tertingginya berada pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ yaitu sebesar 632,9. RPM Sedangkan nilai terendahnya berada pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ sebesar 372 RPM. Sedangkan Turbin dengan penghalang mempunyai nilai tertinggi pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ dengan nilai 659,9 RPM. Nilai terendahnya berada pada Bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ dengan nilai 384 RPM.

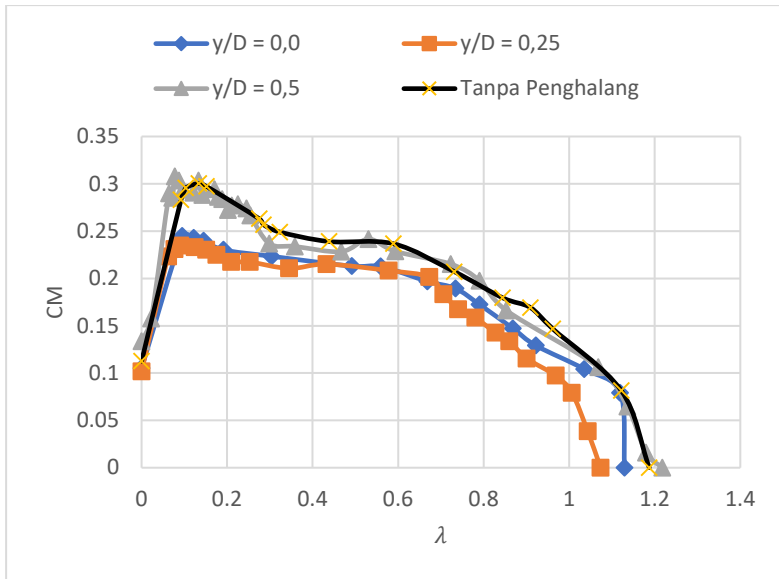
Pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$, nilai putaran poros pada turbin berpenghalang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penghalang. Hal ini menandakan

bahwa penambahan silinder pengganggu pada posisi $y/D = 0,5$ efektif pada bilangan Reynolds $= 14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Hal ini dapat dikarenakan gaya drag pada *returning blade* lebih rendah dari tanpa penghalang dan menyebabkan resultan gaya drag lebih tinggi sehingga putaran poros semakin lebih tinggi dibandingkan tanpa penghalang. Sedangkan pada bilangan Reynolds 9×10^4 penempatan silinder pengganggu tidak efektif

4.3.2 Analisa Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi y/D

4.3.2.1 Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

Dari Pengukuran Torsi dinamis turbin angin Savonius pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dengan menggunakan Brake dynamometer, dapat dianalisa untuk mendapatkan Coefficient of Moment. Coefficient of Moment adalah perbandingan antara Torsi dinamis hasil dari turbin angin Savonius dengan torsi yang dihasilkan oleh energy angin. Percobaan menggunakan variasi y/D $0 = 0,25$ dan $0,5$. Dari hasil pengukuran didapatkan grafik seperti berikut:



Gambar 4.8 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio dengan penghalang pada posisi Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

Gambar 4.8 merupakan grafik hubungan antara Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio pada turbin angin Savonius berpenghalang Pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dengan variasi posisi y/D . Dari Grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai Coefficient of Moment maximum tertinggi didapatkan pada posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai = 0,303. Sedangkan nilai Coefficient of Moment maximum terkecil adalah pada posisi $y/D = 0,0$ dan 0,25 dengan nilai 0,23.

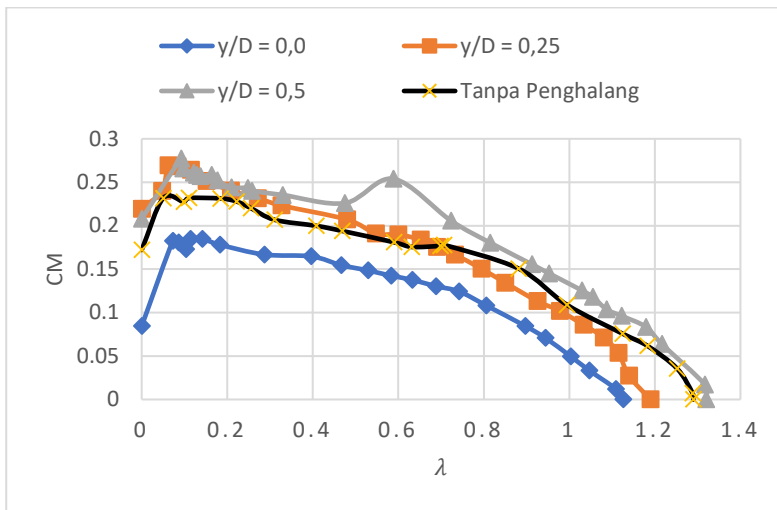
Dapat dilihat dari grafik diatas, Penempatan silinder paling efektif ada pada posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai $CM=0,303$ sedangkan turbin tanpa penghalang mempunyai nilai CM maksimum 0,29. Pada posisi penghalang 0,0 dan 0,25 nilai CM berada dibawah turbin tanpa penghalang. Pada posisi $y/D = 0,0$ dan 0,25 nilai CM maksimum nya adalah 0,23

Nilai CM pada posisi $y/D = 0,5$ tertinggi dikarenakan silinder penghalang dapat mengurangi gaya drag pada sisi returning

blade sehingga resultan gaya drag semakin tinggi dan torsi yang dihasilkan akan lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penghalang. Pada posisi silinder penghalang 0,0 dan 0,25, penambahan silinder penghalang tidak efektif dikarenakan reduksi gaya drag tidak signifikan. Hal ini diduga karena pnerunan gaya drag tidak signifikan dan aliran udara ke advancing blade terhambat oleh silinder pengganggu.

4.3.2.2 Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$

Dari Pengukuran Torsi dinamis turbin angin Savonius pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$ dengan menggunakan Brake dynamometer, dapat dianalisa untuk mendapatkan Coefficient of Moment. Coefficient of Moment adalah perbandingan antara Torsi dinamis hasil dari turbin angin Savonius dengan torsi yang dihasilkan oleh energy angin. Percobaan menggunakan variasi $y/D = 0; 0,25$ dan $0,5$. Dari hasil pengukuran didapatkan grafik seperti berikut :



Gambar4.9 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio dengan penghalang pada posisi Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$

Gambar 4.9 merupakan grafik hubungan antara Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio pada turbin angin Savonius berpenghalang Pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$ dengan variasi posisi y/D . Dari Grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai Coefficient of Moment maximum tertinggi didapatkan pada posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai 0,26. Sedangkan nilai Coefficient of Moment maximum terkecil adalah pada posisi $y/D = 0,0$ dengan nilai 0,18.

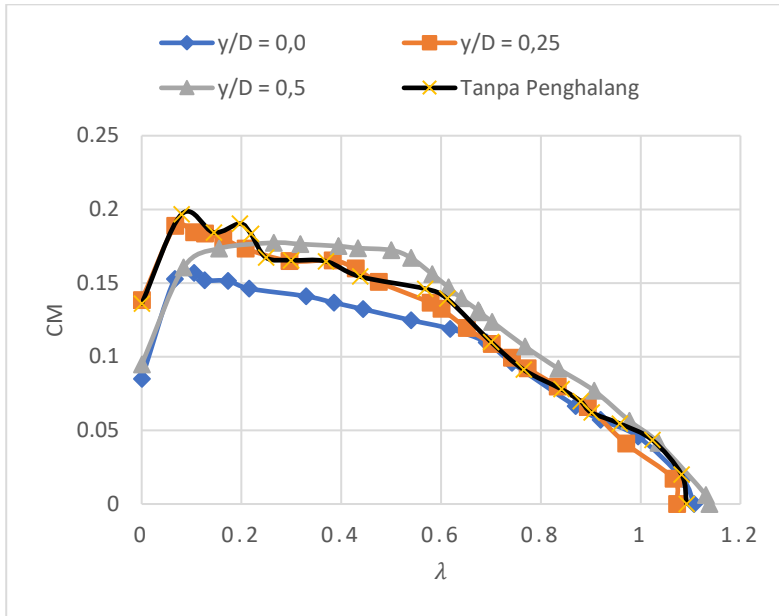
Dapat dilihat dari grafik diatas, Penempatan silinder paling efektif ada pada posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai CM 0,26 sedangkan turbin tanpa penghalang mempunyai nilai CM maksimum 0,23. Pada posisi penghalang $y/D = 0,0$ nilai CM berada dibawah turbin tanpa penghalang. Dan pada posisi $y/D = 0,25$ trendline CM hampir sama dengan CM $y/D = 0,5$ dengan nilai maksimum 0,26. Pada posisi $y/D = 0,0$ nilai CM maksimum nya adalah 0,17

Nilai CM pada posisi $y/D = 0,5$ tertinggi dikarenakan silinder penghalang dapat mengurangi gaya drag pada sisi returning blade sehingga resultan gaya drag semakin tinggi dan torsi yang dihasilkan akan lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penghalang. Pada posisi silinder penghalang $y/D = 0,25$, penambahan silinder penghalang meningkatkan nilai CM tetapi nilai CoP tidak lebih tinggi oleh karena itu penempatan silinder pengganggu tidak efektif hal ini dikarenakan reduksi gaya drag tidak signifikan. Sedangkan pada posisi $y/D = 0,0$ perofrma turbin menurun. Hal ini diduga karena penurunan gaya drag tidak signifikan dan aliran udara ke advancing blade terhambat oleh silinder pengganggu.

4.3.2.3 Coefficient of Moment terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$

Dari Pengukuran Torsi dinamis turbin angin Savonius pada Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ dengan menggunakan Brake dynamometer, dapat dianalisa untuk mendapatkan Coefficient of Moment. Coefficient of Moment adalah perbandingan antara Torsi dinamis hasil dari turbin angin Savonius dengan torsi yang dihasilkan oleh energy angin. Percobaan menggunakan variasi y/D

0; 0,25 dan 0,5. Dari hasil pengukuran didapatkan grafik seperti berikut :



Gambar 4.10 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio dengan penghalang pada posisi Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$

Gambar 4.10 merupakan grafik hubungan antara *Coefficient of Moment* terhadap Tip Speed Ratio pada turbin angin *Savonius* berpenghalang Pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ dengan variasi posisi y/D . Dari Grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai *Coefficient of Moment* maksimum tertinggi didapatkan pada posisi $y/D = 0,25$ dan pada turbin tanpa penghalang . pada posisi $y/D = 0,25$ nilai CMnya sebesar 0,19. Pada turbin tanpa penghalang nilai CMnya sebesar 0,19 Sedangkan nilai *Coefficient of Moment* maksimum terkecil adalah pada posisi $y/D = 0,0$ dengan nilai 0,15.

Dapat dilihat dari grafik diatas, Penempatan silinder pada posisi $y/D = 0,25$ mempunyai nilai maksimum yang hampir sama dengan tanpa penghalang yaitu sebesar 0,19. Pada posisi

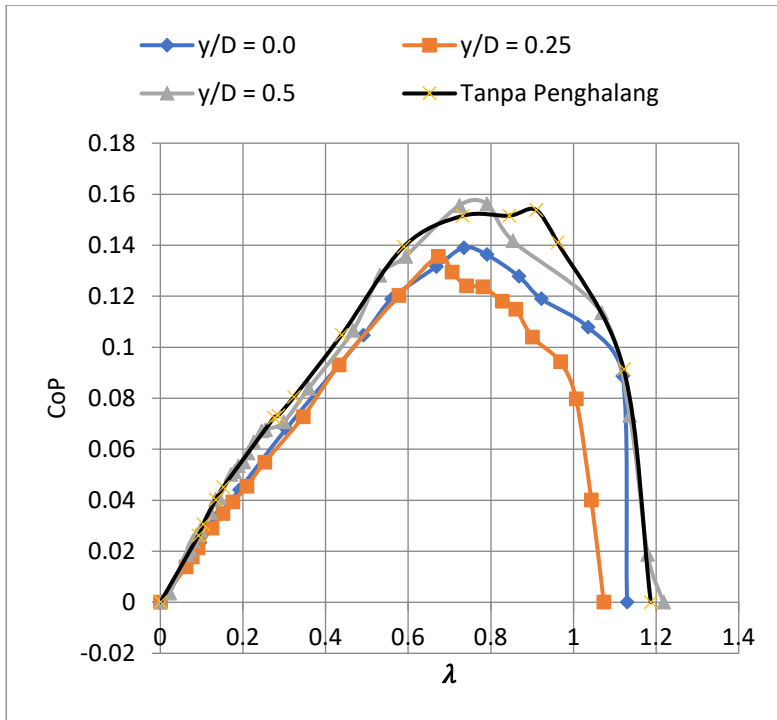
penghalang $y/D = 0,0$ nilai CM berada dibawah turbin tanpa penghalang. Dan pada posisi $y/D = 0,5$ trendline CM hampir sama dengan CM tanpa penghalang tetapi nilai maksimumnya berada dibawah nilai turbin tanpa penghalang sebesar 0,17. Pada posisi $y/D = 0,0$ nilai CM maksimum nya adalah 0,16

Pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ nilai CM tanpa penghalang hampir sama dengan posisi y/D silinder penghalang. Hal ini menyatakan bahwa jika turbin beroperasi pada bilangan Reynolds tersebut, dengan menambahkan silinder pengganggu nilai CM tidak naik secara signifikan dan tidak efektif. Tidak efektifnya penambahan silinder dapat dikarenakan gaya drag yang terjadi pada returning blade dan momentum fluida pada advancing blade. tidak berbeda jika ditambahkan silinder penghalang

4.3.3 Coefficient of Power terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi y/D .

4.3.3.1 Coefficient of Power terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

Coefficient of Power merupakan Perbandingan antara energy yang di hasilkan oleh turbin terhadap energy yang diberikan oleh angin. Hasil dari eksperimen didapatkan data CoP terhadap Tip Speed Ratio setiap y/D dan setiap Bilangan Ryenolds. Data CoP terhadap Tip Speed Ratio akan dibandingkan setiap y/D pada bilangan Reynolds yang sama yaitu $9,7 \times 10^4$:



Gambar 4.11 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi posisi y/D pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

Gambar 4.11 merupakan grafik CoP terhadap Tip Speed ratio dengan variasi posisi silinder penghalang y/D pada Bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$. Dilihat dari grafik, posisi silinder penghalang $y/D = 0,5$ mempunyai nilai CoP maksimum tertinggi dengan nilai 15,6 % pada TSR = 0,73 dan nilai CoP maximum terendah pada posisi $y/D = 0,0$ sebesar 13,5 % pada TSR = 0,67.

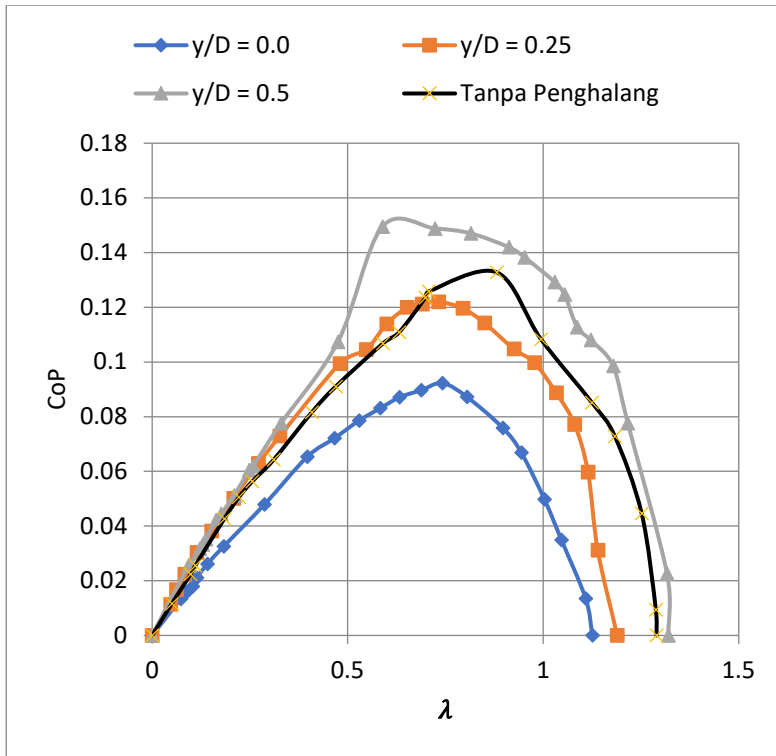
Jika dibandingkan dengan performa turbin tanpa penghalang, posisi silinder penghalang paling efektif diletakkan pada $y/D = 0,5$. Pada posisi $y/D = 0,5$, CoP maksimum yang dihasilkan oleh turbin naik menjadi 15,6 % pada Tip Speed Ratio 0,73 jika tanpa penghalang CoP maksimum yang dihasilkan hanya 15,4 % pada Tip Speed Ratio 0,9. Terjadi kenaikan CoP sebesar

1,3 %. Pada penempatan silinder penghalang pada posisi $y/D = 0,25$ CoP maksimum yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan tanpa penghalang. Pada posisi $y/D = 0,25$ CoP maksimum yang dihasilkan oleh turbin adalah 13,9 % pada Tip Speed Ratio 0,73 terjadi penurunan CoP sebesar 9,1%. Sedangkan pada posisi $y/D = 0,0$ CoP yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penghalang. CoP yang dihasilkan adalah 13,5 % pada Tip Speed Ratio 0,69. Terjadi penurunan CoP sebesar 11,8 %.

Pada posisi $y/D = 0,5$ dan $0,25$ diduga resultan gaya drag yang terjadi pada turbin angin Savonius lebih tinggi dibandingkan tanpa penghalang dikarenakan penambahan silinder penghalang didepan returning blade mereduksi gaya dragnya dari pada tanpa penghalang dan nilai CoP yang dihasilkan akan naik. Pada posisi $y/D = 0$ penurunan CoP diduga dikarenakan penempatan silinder pengganggu pada posisi menghambat aliran udara kearah advancing blade sehingga resultan torsi lebih rendah dibandingkan tanpa penghalang dan nilai CoP yang dihasilkan lebih rendah. Oleh karena itu penempatan silinder pengganggu efektif pada posisi $y/D = 0,5$ dan $0,25$

4.3.3.2 Coefficient of Power terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$

Coefficient of Power merupakan Perbandingan antara energy yang dihasilkan oleh turbin terhadap energy yang diberikan oleh angin. Hasil dari eksperimen didapatkan data CoP terhadap Tip Speed Ratio setiap y/D dan setiap Bilangan Reynolds. Data CoP terhadap Tip Speed Ratio akan dibandingkan setiap y/D dan tanpa penghalang pada bilangan Reynolds yang sama yaitu $14,5 \times 10^4$. Dengan membandingkan performa turbin tanpa penghalang dengan berpenghalang didapatkan posisi y/D yang optimum. Grafik yang didapatkan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.12 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi posisi y/D pada bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$

Gambar 4.12 merupakan grafik CoP terhadap Tip Speed ratio dengan variasi posisi silinder penghalang y/D pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$. Dilihat dari grafik, posisi silinder penghalang $y/D = 0,5$ mempunyai nilai CoP maksimum tertinggi dengan nilai 14,9 % pada TSR = 0,58 dan nilai CoP maximum terendah pada posisi $y/D = 0,0$ sebesar 9,2 % pada TSR = 0,74. Nilai Tip Speed Ratio tertinggi ada pada posisi silinder penghalang $y/D = 0,5$ dengan nilai 1,32 sementara nilai terendahnya ada pada posisi $y/D = 0,0$ dengan nilai 1,12.

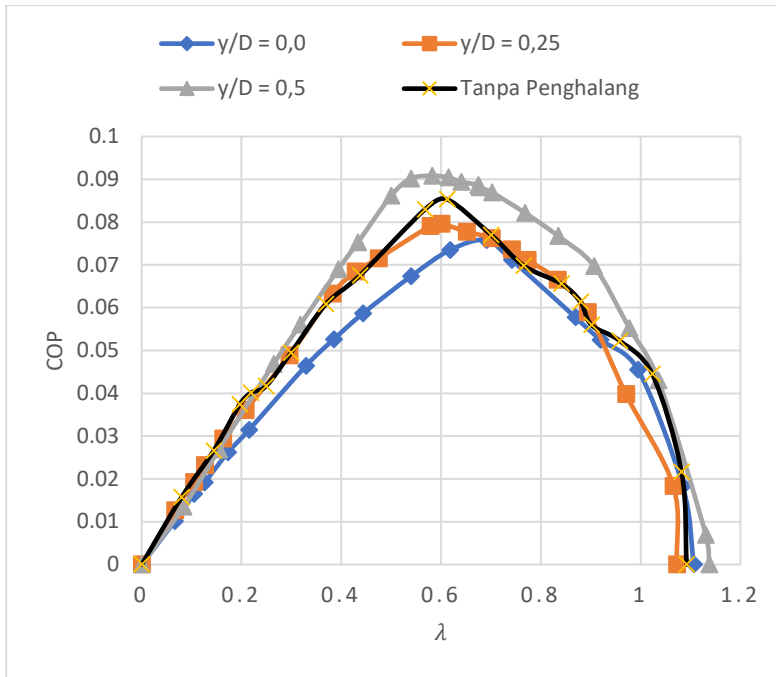
Jika dibandingkan dengan performa turbin tanpa penghalang, posisi silinder penghalang paling efektif diletakkan

pada $y/D = 0,5$. Pada posisi $y/D = 0,5$, CoP maksimum yang dihasilkan oleh turbin naik menjadi 14,9 % pada TSR 0,58 jika tanpa penghalang CoP maksimum yang dihasilkan 13,3 % pada TSR 0,88. Kenaikan CoPnya sebesar 12 %. Sedangkan pada posisi $y/D = 0,0$ dan 0,25 CoP yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penghalang. CoP yang dihasilkan pada posisi $y/D = 0,0$ adalah 9,2 % pada TSR = 0,74. Terjadi penurunan CoP sebesar 31 %. Pada posisi $y/D = 0,25$ CoP tertinggi yang dihasilkan adalah 12,3 % pada TSR = 0,69. Terjadi penurunan nilai CoP yang terjadi adalah sebesar 8,1 %.

Pada posisi $y/D = 0,5$ diduga resultan gaya drag yang terjadi pada turbin angin Savonius lebih tinggi dibandingkan tanpa penghalang dikarenakan penambahan silinder penghalang didepan returning blade menurunkan tekanan didepan returning blade dan akhirnya gaya drag pada returning blade lebih rendah dari pada returning blade tanpa penghalang dan nilai CoP yang dihasilkan akan naik. Pada posisi y/D sama dengan 0 dan 0,25 penurunan CoP terjadi diduga dikarenakan penempatan silinder pengganggu pada posisi menghambat aliran udara kearah advancing blade sehingga resultan torsi lebih rendah dibandingkan tanpa penghalang dan nilai CoP yang dihasilkan lebih rendah. Penempatan silinder pengganggu paling efektif adalah pada posisi $y/D = 0,5$

4.3.3.3 Coefficient of Power terhadap Tip Speed Ratio pada Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$

Coefficient of Power merupakan Perbandingan antara energy yang dihasilkan oleh turbin terhadap energy yang diberikan oleh angin. Hasil dari eksperimen didapatkan data CoP terhadap Tip Speed Ratio setiap y/D dan setiap Bilangan Reynolds. Data CoP terhadap Tip Speed Ratio akan dibandingkan setiap y/D dan tanpa penghalang pada bilangan Reynolds yang sama yaitu $17,8 \times 10^4$. Dengan membandingkan performa turbin tanpa penghalang dengan berpenghalang didapatkan posisi y/D yang optimum. Grafik yang didapatkan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.13 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio dengan variasi posisi y/D pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$

Gambar 4.13 merupakan grafik CoP terhadap Tip Speed ratio dengan variasi posisi silinder penghalang y/D pada Bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$. Dilihat dari grafik, posisi silinder penghalang $y/D = 0,5$ mempunyai nilai CoP maksimum tertinggi dengan nilai 9,04 % dan nilai CoP maximum terendah pada posisi $y/D = 0,0$ sebesar 7,7 %. Nilai Tip Speed Ratio tertinggi ada pada posisi silinder penghalang $y/D = 0,5$ dengan nilai 1,13 sementara nilai terendahnya ada pada posisi $y/D = 0,25$ dengan nilai 1,09.

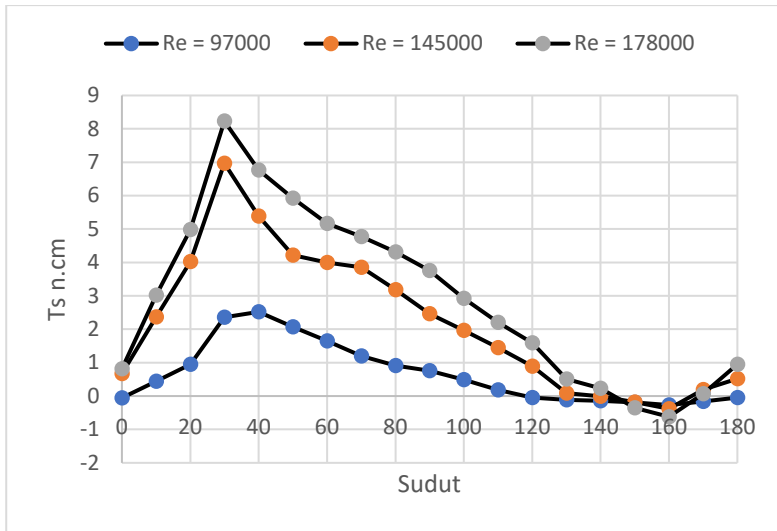
Jika dibandingkan dengan performa turbin tanpa penghalang, posisi silinder penghalang efektif diletakkan pada $y/D = 0,5$. Pada posisi $y/D = 0,5$, CoP maksimum yang dihasilkan oleh turbin adalah 9,08 % pada TSR = 0,58. Jika tanpa penghalang CoP maksimum yang dihasilkan 8,5 % pada TSR = 0,57. Terjadi

kenaikan CoP sebesar 6,8 %. Sedangkan pada posisi y/D 0,0 dan 0,25 CoP yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penghalang. CoP yang dihasilkan pada posisi $y/D = 0,0$ adalah 7,7% pada $TSR = 0,7$. Terjadi penurunan CoP sebesar 9,4%. Pada posisi $y/D = 0,25$ CoP maksimum yang dihasilkan adalah 7,9% pada $TSR 0,535$ Nilai CoP terjadi penurunan sebesar 7,05%.

Pada posisi $y/D = 0,5$ diduga resultan gaya drag yang terjadi pada turbin angin Savonius lebih tinggi dibandingkan tanpa penghalang dikarenakan penambahan silinder penghalang didepan returning blade menurunkan tekanan didepan retuning blade dan akhirnya gaya drag pada returning blade lebih rendah dari pada returning blade tanpa penghalang dan nilai CoP yang dihasilkan akan naik. Pada posisi $y/D = 0$ penurunan CoP terjadi diduga dikarenakan turunya aliran udara pada advancing blade dikarenakan terhambat oleh silinder penghalang. Pada posisi $y/D = 0,25$ tidak mempunyai efek yang signifikan sehingga nilainya hampir sama dengan tanpa penghalang.

4.3.4 Analisa Torsi Statis pada Turbin Angin Savonius dengan Silinder Penghalang pada posisi y/D 0,5

Data Torsi Statis dengan penambahan Silinder penghalang pada posisi $y/D : 0,5$ dengan variasi bilangan Reynolds. Variasi Bilangan Reynolds yang digunakan adalah 9×10^4 , $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Pengukuran dilakukan pada posisi $y/D: 0,5$ dikarenakan pada posisi ini, CoP pada setiap bilangan Reynolds memiliki nilai yang tertinggi dari posisi y/D lainnya. Data yang yang didapatkan dibuat Grafik sebagai berikut:



Gambar 4.14 Grafik Torsi Statis Berpenghalang posisi y/D : 0,5 terhadap sudut bukaan turbin dengan variasi bilangan Reynolds.

Gambar 4.14 merupakan grafik nilai Torsi Statis terhadap sudut bukaan turbin terhadap arah datangnya angin. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai torsi statis maksimum tertinggi terdapat pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ pada bukaan sudu turbin 30 derajat. Sedangkan nilai torsi statis maksimum terendah berada pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ bukaan sudu turbin 40 derajat. Nilai Torsi Statis minimum hampir mempunyai nilai yang sama pada setiap bilangan Reynolds terletak pada sudut 160 derajat.

Pada sudut 40 derajat mempunyai nilai terendah diduga karena pada sudut tersebut nilai gaya drag Advacing blade lebih tinggi dibandingkan pada returning blade serta terdapat gaya lift yang searah dengan gaya drag advancing blade. Pada sudut 160 derajat gaya drag pada advancing blade lebih rendah dibandingkan pada returning blade serta diduga gaya lift yang terjadi berlawanan arah dengan gaya drag advancing blade sehingga menghasilkan

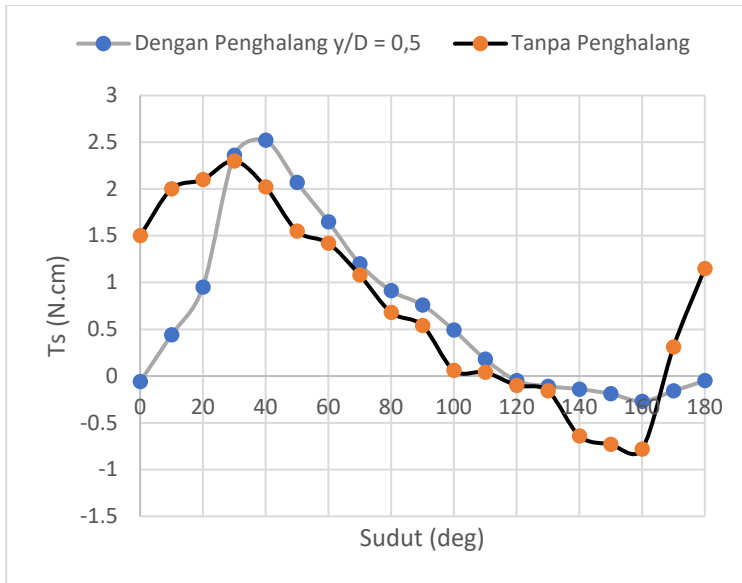
nilai negatif. Hal ini akan menghasilkan drag yang lebih rendah yang akan menghasilkan daya yang kecil.

4.3.5 Perbandingan Nilai Torsi Statis antara Turbin Tanpa Penghalang dan Turbin dengan Penghalang Pada Posisi Silinder Pengganggu $y/D = 0,5$

Setelah didapatkan nilai torsi statis dengan peletakan penghalang pada posisi $y/D = 0,5$, akan dibandingkan dengan nilai torsi statis tanpa penghalang untuk mengetahui apakah ada peningkatan nilai torsi statisnya yang akan mempengaruhi self starting turbin angin Savonius.

4.3.5.1 Perbandingan Nilai Torsi Statis antara Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin dengan Penghalang pada bilangan Reynolds $= 9,7 \times 10^4$

Dari data torsi statis turbin angin Savonius tanpa penghalang pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dibandingkan dengan turbin angin Savonius berpenghalang pada bilangan Reynolds yang sama. Grafik perbandingannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.15 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin angin tanpa penghalang dengan turbin angin berpenghalang pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

Gambar 4.12 merupakan grafik komparasi Torsi Statis pada Turbin tanpa Penghalang dengan Turbin berpenghalang pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$. Dilihat dari grafik Nilai Maksimum tertinggi ada pada sudut 40 derajat pada turbin angin berpenghalang dengan nilai torsi statis 2,52 N.cm. Sedangkan Nilai minimum terendah ada pada sudut 160 derajat pada turbin angin tanpa penghalang dengan nilai torsi statis -0,78.

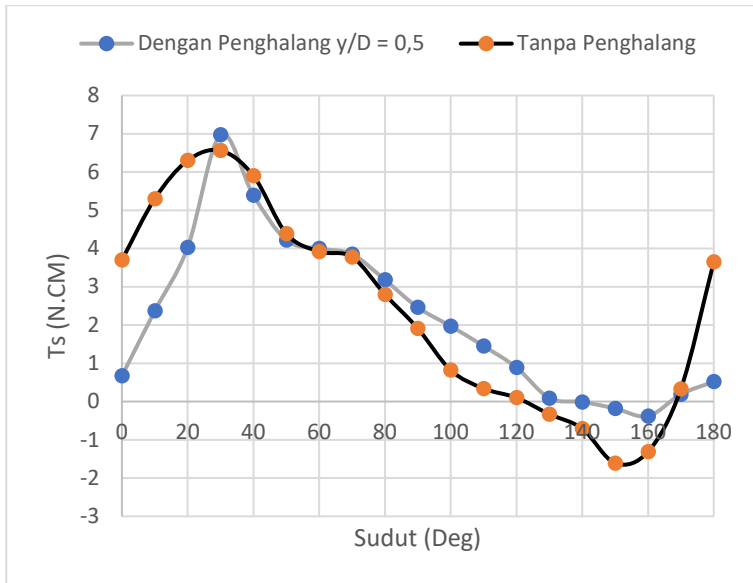
Dengan menambahkan silinder penghalang pada bilangan Reynolds = 9×10^4 menaikkan nilai maksimum torsi statis menjadi 2,52. Nilai Maksimum torsi statis tanpa penghalang berada pada sudut 30 derajat dengan nilai 2,3 N.cm. Selain itu Nilai minimum torsi statis juga naik menjadi -0,27. Jika tanpa penghalang nilai minimum adalah -0,78 pada sudut 160 derajat.

Pengaruh dari penambahan silinder penghalang adalah menaikkan nilai torsi maximum serta mundurnya sudut torsi statis

maximumnya. Torsi minimumnya juga mengalami kenaikan. Sehingga self starting turbin angin Savonius berpenghalang lebih baik dibandingkan tanpa penghalang. Naiknya nilai maximum torsi statis diduga dikarenakan penurunan gaya drag pada returning blade. Pada sudut 0 derajat hingga 20 derajat dan sudut 170 derajat hingga 180 derajat mempunyai nilai torsi statis lebih rendah. Hal ini diduga karena menambahkan silinder pengganggu aliran fluida terhambat sehingga torsi yang dihasilkan lebih rendah.

4.3.5.2 Perbandingan Nilai Torsi Statis antara Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin dengan Penghalang pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$

Dari data torsi statis turbin angin Savonius tanpa penghalang pada bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$ dibandingkan dengan turbin angin Savonius berpenghalang pada bilangan Reynolds yang sama. Grafik perbandingannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.16 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin angin tanpa penghalang dengan turbin angin berpenghalang pada bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$

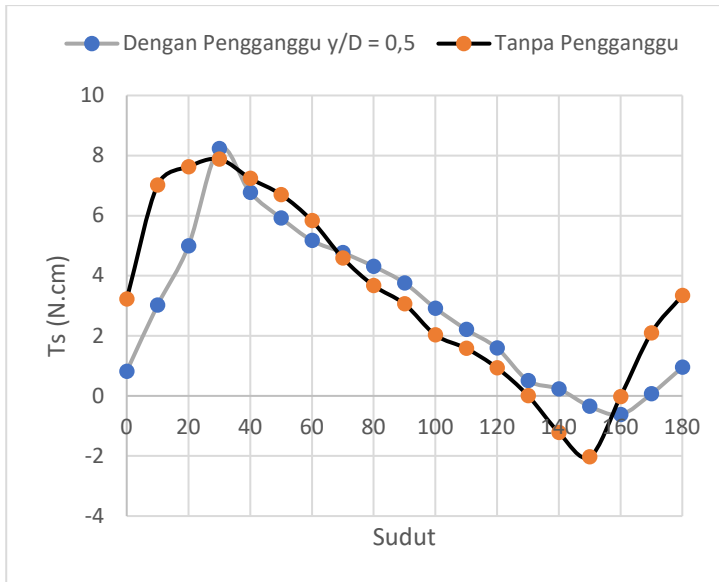
Gambar 4.16 merupakan grafik komparasi Torsi Statis pada Turbin tanpa Penghalang dengan Turbin berpenghalang pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$. Dilihat dari grafik Nilai Maksimum tertinggi ada pada sudut 30 derajat pada turbin angin berpenghalang dengan nilai torsi statis 6,97 N.cm. Sedangkan Nilai minimum terendah ada pada sudut 150 derajat pada turbin angin tanpa penghalang dengan nilai torsi statis -1,61.

Dengan menambahkan silinder penghalang pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$ menaikkan nilai maksimum torsi statis menjadi 6.97. Nilai Maksimum torsi statis tanpa penghalang berada pada sudut 30 derajat dengan nilai 6,56 N.cm. Selain itu Nilai minimum torsi statis juga naik menjadi -0,38 pada sudut 150. Jika tanpa penghalang nilai minimum adalah -1,61 pada sudut 150 derajat.

Pengaruh dari penambahan silinder penghalang tidak begitu signifikan pada nilai torsi maximumnya. Pada nilai torsi minimum mengalami kenaikan. Sehingga self starting turbin angin Savonius berpenghalang pada sudut antara 80 derajat hingga 170 derajat lebih baik dibandingkan tanpa penghalang. Naiknya nilai minimum torsi statis diduga dikarenakan penurunan gaya drag pada returning blade. Pada sudut 0 derajat hingga 20 derajat dan 180 derajat mempunyai nilai torsi statis lebih rendah. Hal ini diduga karena menambahkan silinder mengganggu aliran fluida terhambat sehingga torsi yang dihasilkan lebih rendah.

4.3.5.3 Perbandingan Nilai Torsi Statis antara Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin dengan Penghalang pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$

Dari data torsi statis turbin angin Savonius tanpa penghalang pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ dibandingkan dengan turbin angin Savonius berpenghalang pada bilangan Reynolds yang sama. Grafik perbandingannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.17 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin angin tanpa penghalang dengan turbin angin berpenghalang pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$

Gambar 4.17 merupakan grafik komparasi Torsi Statis pada Turbin tanpa Penghalang dengan Turbin berpenghalang pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$. Dilihat dari grafik Nilai Maksimum tertinggi ada pada sudut 30 derajat pada turbin angin berpenghalang dengan nilai torsi statis 8,23 N.cm. Sedangkan Nilai minimum terendah ada pada sudut 150 derajat pada turbin angin tanpa penghalang dengan nilai torsi statis -2,03.

Dengan menambahkan silinder penghalang pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ menaikkan nilai maksimum torsi statis menjadi 8,23. Nilai Maksimum torsi statis tanpa penghalang berada pada sudut 30 derajat dengan nilai 7,88 N.cm. Selain itu Nilai minimum torsi statis juga naik menjadi -0,62 pada sudut 160. Jika tanpa penghalang nilai minimum adalah -2,03 pada sudut 150 derajat.

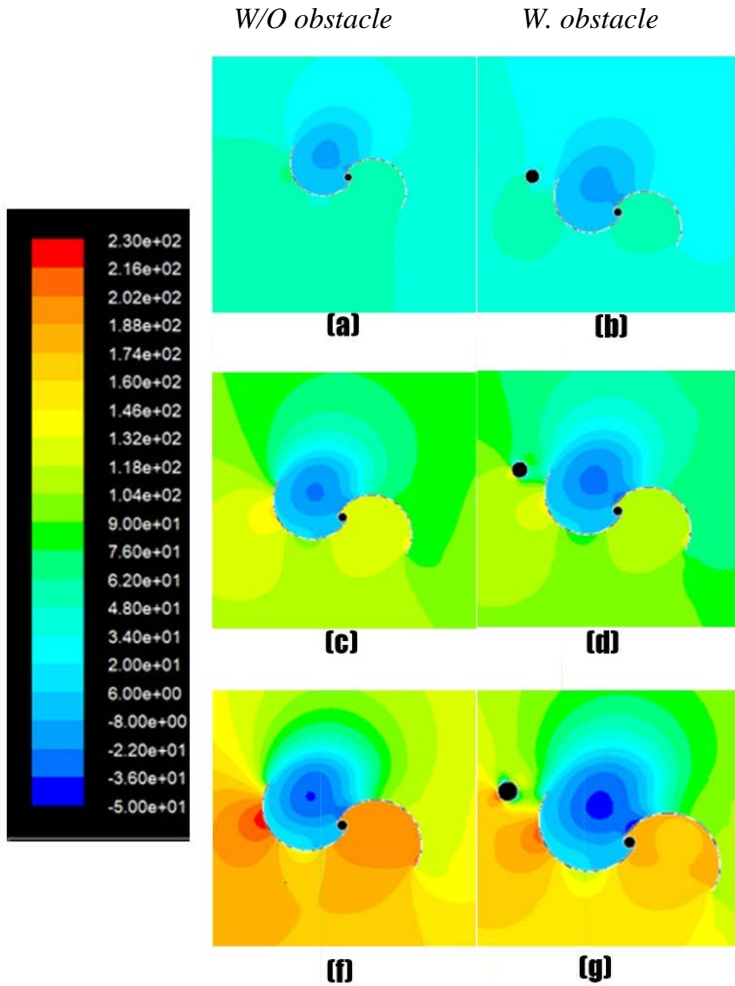
Pengaruh dari penambahan silinder penghalang tidak begitu signifikan pada nilai torsi maximumnya. Pada nilai torsi minimum mengalami kenaikan. Sehingga self starting turbin angin Savonius berpenghalang pada sudut antara 30 derajat hingga 160 derajat lebih baik dibandingkan tanpa penghalang. Naiknya nilai minimum torsi statis diduga dikarenakan penurunan gaya drag pada returning blade. Pada sudut 0 derajat hingga 20 derajat dan 170 hingga 180 derajat mempunyai nilai torsi statis lebih rendah. Hal ini diduga karena menambahkan silinder pengganggu aliran fluida terhambat sehingga torsi yang dihasilkan lebih rendah.

4.4 Hasil CFD

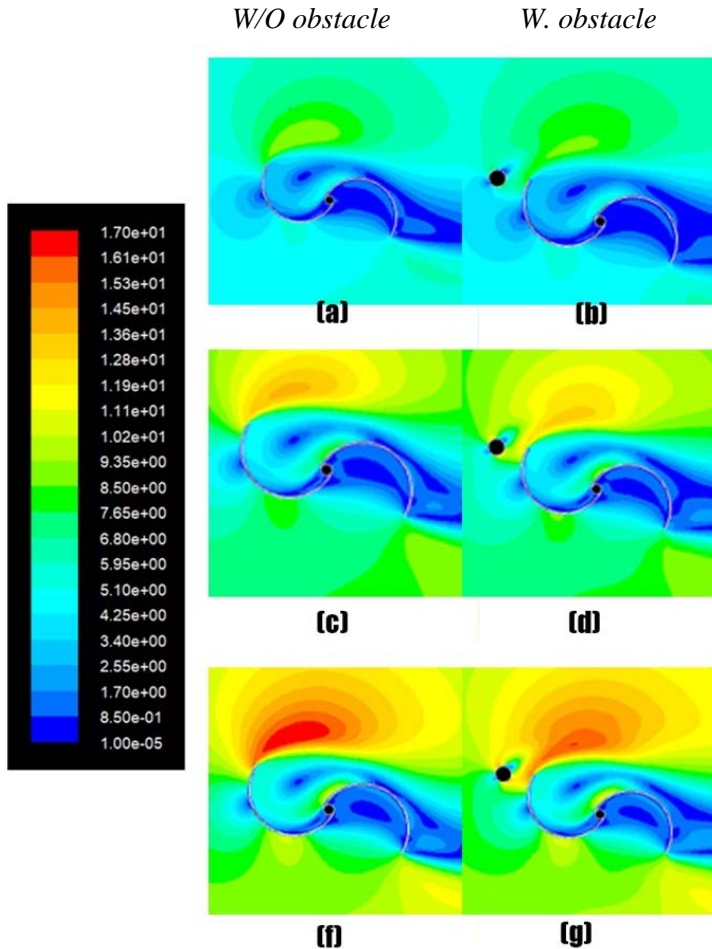
Dilakukan simulasi numerik dengan menggunakan fluent 6.3 agar dapat melihat kontur tekanan dan kecepatan. Kontur tekanan dan kecepatan dapat memperjelas fenome yang terjadi di turbin angin pada saat ditambah silinder pengganggu. Simulasi dilakukan pada bilangan Reynolds 97000 145000 dan 178000 pada sudut sudu turbin 160 derajat. Simulasi numerik dilakukan pada sudut 160 derajat dikarenakan untuk melihat perbedaan tekanan dengan variasi bilangan Reynolds pada sudut yang sama.

Selanjutnya dilakukan simulasi pada bilangan Reynolds 178000 dengan variasi sudut sudu 30, 90 dan 160 derajat. Dilakukan simulasi dengan sudut tersebut dikarenakan pada data torsi statis nilai maximum rata rata pada sudut 30 derajat sedangkan nilai terendah berada pada sudut 150 hingga 160 derajat. Sudut 90 derajat dipilih agar menjadi sudut normal turbin.

Hasil dari simulasi dengan sudut yang sama adalah sebagai berikut:



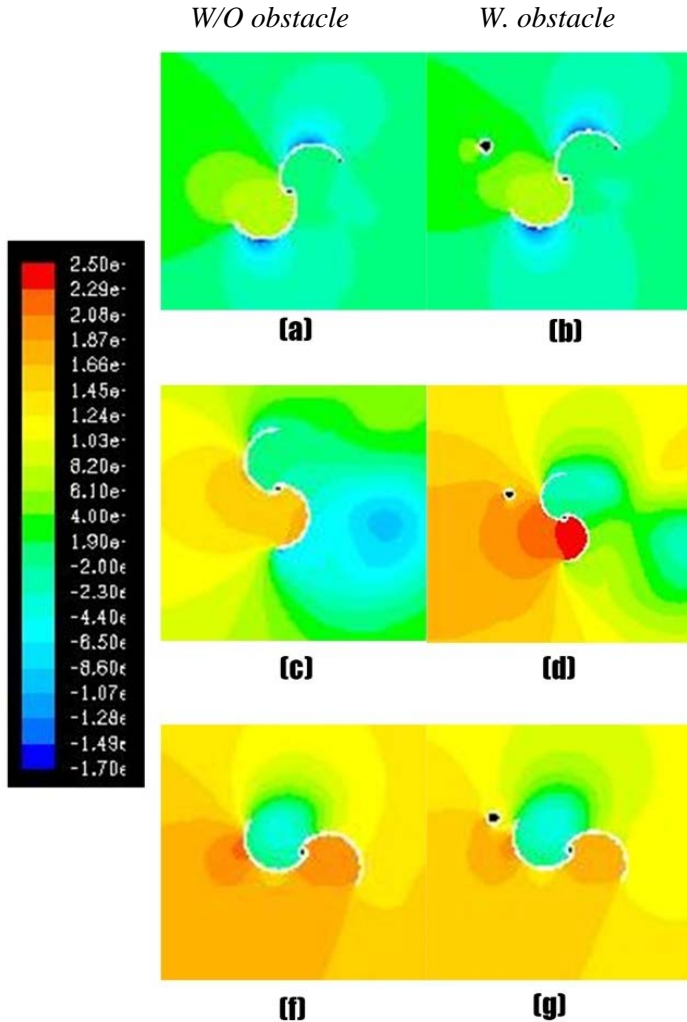
Gambar 4.18 kontur tekanan pada posisi angular sudu 30 derajat Bilangan Reynolds 97000 (a) tanpa penghalang berpenghalang, bilangan Reynolds 145000 (c) tanpa penghalang (d) berpenghalang, bilangan Reynolds 178000 (f) tanpa penghalang(g) berpenghalang



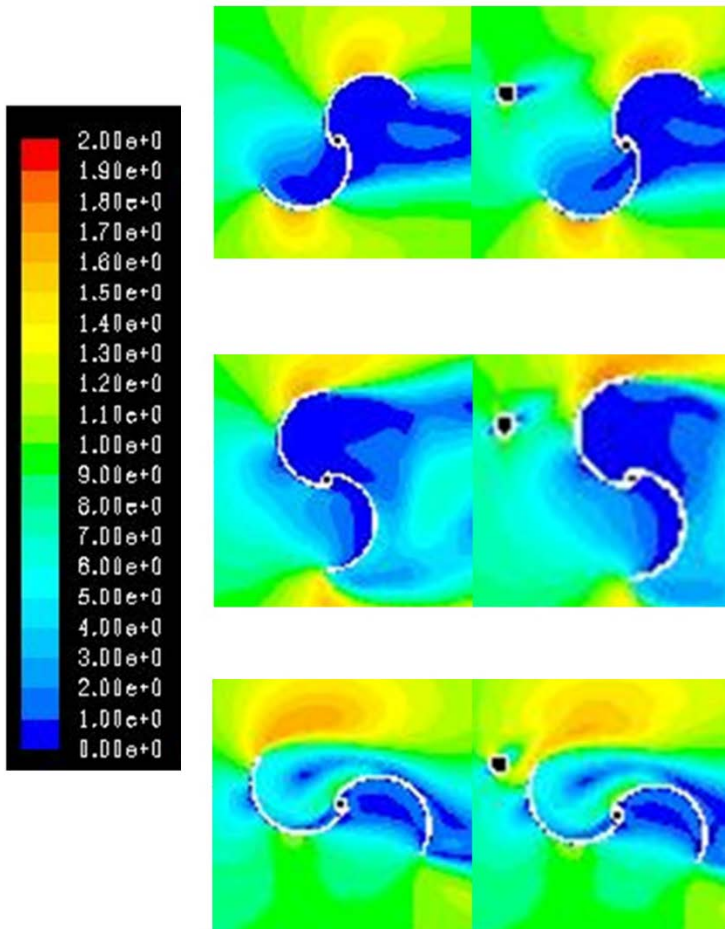
Gambar 4.19 kontur kecepatan pada posisi angular sudu 30 derajat Bilangan Reynolds 97000 (a) tanpa penghalang berpenghalang, bilangan Reynolds 145000 (c) tanpa penghalang (d) berpenghalang, bilangan Reynolds 178000 (f) tanpa penghalang(g) berpenghalang

Dari kontur tekanan diatas dapat dilihat bahwa tekanan naik ketika bilangan Reynolds naik. Dapat di lihat dari gambar 4.18 bagian f dan g, dengan menambahkan silinder pengganggu didepan *returning blade* pada posisi $y/D = 0,5$ menurunkan tekanan didepan returning blade.

Gambar 4.19 merupakan kontur kecepatan pada turbin dengan posisi angular sudu 160 derajat dengan variasi bilangan Reynolds. Pada sudut 160 derajat pengaruh silinder pengganggu pada turbin savonius terlihat pada bilangan Reynolds 178000. Dengan menambahkan silinder pengganggu kecepatan pada returning blade berkurang dan terjadi vortex didepan returning blade.



Gambar 4.20 kontur tekanan pada bilangan Reynolds 178000 dengan sudut angular sudu 30 derajat (a) tanpa penghalang berpenghalang, sudut angular sudu 90 derajat (c) tanpa penghalang (d) berpenghalang, sudut angular 160 derajat (f) tanpa penghalang(g) berpenghalang



Gambar 4.21 kontur kecepatan pada bilangan Reynolds 178000 dengan sudut angular sudu 30 derajat (a) tanpa penghalang (b) berpenghalang, sudut angular sudu 90 derajat (c) tanpa penghalang (d) berpenghalang, sudut angular 160 derajat (e) tanpa penghalang (f) berpenghalang

Gambar diatas merupakan kontur tekanan dan kecepatan pada bilangan Reynolds 178000 dengan variasi sudut angular sudu. Menurut torsi statis sudut 30 derajat merupakan sudut dengan torsi tertinggi. Dan pada sudut 160 nilai torsi statis yang dihasilkan lebih rendah. Jika dilihat di kontur tekanan diatas, dapat dilihat bahwa pada sudut 30 derajat, tekanan di returning blade lebih rendah di bandingkan pada sudut 160 derajat. Hal ini akan menyebabkan gaya tekan yang lebih tinggi pada sudut 160 derajat. Dikarenakan fluida mengalir dari energi yang tinggi menuju energi yang rendah maka semakin besar gaya tekan didepan returning blade maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar. Dan akan menciptakan torsi statis yang lebih rendah.

Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari studi eksperimen pengaruh silinder pengganggu $d/D = 0,5$ didepan returning blade pada posisi $S/D = 1,2$ dengan variasi $y/D = 0; 0,25$ dan $0,5$ pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$:

1. Dengan menambahkan silinder pengganggu didepan returning blade Turbin Angin Savonius pada posisi $S/D = 1,2$ dengan $d/D = 0,2$ dapat meningkatkan performa turbin angin Savonius. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan nilai putaran poros, nilai torsi statis, Coefficient of Power dan Coefficient of Moment dibandingkan dengan tanpa penghalang
2. Penambahan silinder pengganggu efektif meningkatkan nilai putaran poros. pada $y/D = 0,0$ penempatan silinder pengganggu efektif beroperasi pada bilangan Reynolds $16,8 \times 10^4$ dengan kenaikan 4,2%. Pada $y/D = 0,25$ penempatan silinder pengganggu efektif pada bilangan Reynolds $16,8 \times 10^4$ dengan kenaikan 4,4 %. penempatan silinder pada $y/D = 0,5$ semua bilangan Reynolds dengan kenaikan tertinggi pada bilangan Reynolds = $16,8 \times 10^4$ dengan nilai 4,3 %.
3. Penempatan Silinder pengganggu pada posisi $s/D = 1,2$ dan $y/D = 0,5$ dapat meningkatkan nilai CoP secara efektif pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dengan kenaikan CoP sebesar 1,3 % dari nilai tanpa penghalang sedangkan pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$ memiliki kenaikan CoP sebesar 12% dari nilai tanpa penghalang dan pada

bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ terjadi kenaikan CoP sebesar 6,8% kali dari nilai tanpa penghalang sedangkan pada variasi $y/D = 0,0$ dan $0,25$ pada semua variasi bilangan Reynolds tidak efektif.

4. Penambahan silinder penghalang didepan returning blade pada posisi $y/D = 0,5$ efektif meningkatkan nilai torsi statis pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ terjadi kenaikan nilai torsi statis sebesar 9% dari nilai torsi statis tanpa penghalang sedangkan pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$ terjadi kenaikan sebesar 6% dari nilai torsi statis tanpa penghalang dan pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ terjadi kenaikan sebesar 4% dari nilai torsi statis tanpa penghalang. Dengan menambahkan penghalang self starting turbin angin Savonius lebih baik dibandingkan dengan tanpa penghalang dapat dilihat dari peningkatan nilai torsi statisnya.
5. Nilai Coefficient of Moment atau CM meningkat dengan menambahkan silinder pengganggu pada posisi $y/D = 0,5$ pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $14,5 \times 10^4$ pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ terjadi kenaikan sebesar 3,4% dari nilai CM tanpa penghalang pada bilangan Reynolds = $13,8 \times 10^4$ terjadi kenaikan sebesar 16% dari nilai CM tanpa penghalang. sedangkan pada bilangan Reynolds = $16,8 \times 10^4$ menambahkan silinder pengganggu tidak efektif.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah;

1. Menggunakan torsi sensor untuk pengukuran lebih akurat
2. Melanjutkan penelitian turbin angin Savonius dengan silinder penghalang pada posisi $y/D = 0,5$ hingga $1,0$
3. Digunakan poros yang tidak bergetar

DAFTAR PUSTAKA

1. J.J wang, P.F Zhang, S.F. Lu, dan K. Wu. 2006. "*Drag Reduction of a Circular Cylinder Using an Upstream Rod*". Beijing. *Beijing University of Aeronautics and Astronautics*
2. A.A. Kaddam dan S.S Patil. 2013."A Review Study on Savonius Wind Rotors for Accessing the Power Performance". india. Marathwada Institute of Technology
3. B.D. Altan, M. Atilgan, A. Ozdamar. 2007. "*An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining*". Turkey. Pamukkale University,
4. N.S. Çetin, M.A. Yurdusev, R. Ata dan A. Özdamar. 2005. "*Assessment Of Optimum Tip Speed Ratio Of Wind Turbines*". Turkey. Ege University.
5. B.D. Altan , M. Atilgan. 2007. "*An experimental and numerical study on the improvement of the performance of Savonius wind rotor*". Turkey. Pamukale University,
6. PLN.go.id . "Statistik 2016". Mei 2017. Diperoleh pada 20 november 2017.
7. M.H. Mahmoud et.al. 2010, "*An experimental study on improvement of Savonius rotor performance*". Mesir. Alexandria university
8. Adhi. H. 2017." *Pengaruh Silinder Sirkular Sebagai Pengganggu Aliran Di Depan Sisi Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Tipe Savonius*". Surabaya. Institut teknologi Sepuluh Nopember
9. Pritchard, Philip J. and John C. Leylegian. 2011. "*Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics, Edisi 8*". United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
10. T. Yuwono , A. Latip, N.P. Putri, M. Ubaidillah, E.N. Mazhilna, C. Ariyanto, U. Andaryani, A. Fauzi, W.A. Widodo, B.A. Dwiyanoro." *The Effect of Width of Single*

*Curtain on The Performance of Savonius Wind
Turbin*".Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,

Lampiran

Tabel A-1

Tanpa penghalang bilangan Reynolds 97000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.2	374.57	0	39.20	0.00	1.1772	0.089	1.19	0.00	0.00
2	28.2	353.90	15	37.04	190.00	1.1772	0.089	1.12	0.09	0.08
3	28.2	326.70	16	34.19	300.00	1.1772	0.089	1.04	0.14	0.13
4	28.2	303.35	18	31.75	333.33	1.1772	0.089	0.96	0.14	0.15
5	28.2	287.01	20	30.04	383.33	1.1772	0.089	0.91	0.15	0.17
6	28.2	266.39	25	27.88	410.67	1.1772	0.089	0.84	0.15	0.18
7	28.2	230.75	35	24.15	480.00	1.1772	0.089	0.73	0.15	0.21
8	28.2	185.89	45	19.46	553.33	1.1772	0.089	0.59	0.14	0.24
9	28.2	138.47	50	14.49	563.33	1.1772	0.089	0.44	0.10	0.24
10	28.2	125.53	55	13.14	550.00	1.1772	0.089	0.40	0.09	0.23
11	28.2	101.94	65	10.67	600.00	1.1772	0.089	0.32	0.08	0.25
12	28.2	89.92	75	9.41	626.67	1.1772	0.089	0.28	0.07	0.26
13	28.2	86.85	85	9.09	650.00	1.1772	0.089	0.28	0.07	0.26

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
14	28.2	74.29	95	7.78	713.33	1.1772	0.089	0.24	0.07	0.29
15	28.2	67.46	105	7.06	702.67	1.1772	0.089	0.21	0.06	0.28
16	28.2	56.18	115	5.88	700.00	1.1772	0.089	0.18	0.05	0.27
17	28.2	53.46	125	5.60	706.67	1.1772	0.089	0.17	0.05	0.27
18	28.2	47.95	135	5.02	773.33	1.1772	0.089	0.15	0.05	0.30
19	28.2	45.86	145	4.80	780.00	1.1772	0.089	0.15	0.04	0.30
20	28.2	42.27	155	4.42	800.00	1.1772	0.089	0.13	0.04	0.30
21	28.2	32.67	165	3.42	800.00	1.1772	0.089	0.10	0.03	0.30
22	28.2	29.13	175	3.05	783.33	1.1772	0.089	0.09	0.03	0.28
23	28.2	0.00	185	0.00	426.67	1.1772	0.089	0.00	0.00	0.11

Tabel A-2
Tanpa penghalang bilangan Reynolds 145000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timban gan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.2	609.20	0	63.76	0.00	1.1772	0.089	1.29	0.00	0.00
2	28.2	608.43	15	63.68	50.00	1.1772	0.089	1.29	0.01	0.01
3	28.2	591.25	35	61.88	206.67	1.1772	0.089	1.25	0.04	0.04
4	28.2	558.83	55	58.49	351.33	1.1772	0.089	1.18	0.07	0.06
5	28.2	531.25	75	55.60	439.33	1.1772	0.089	1.12	0.09	0.08
6	28.2	469.69	85	49.16	609.33	1.1772	0.089	0.99	0.11	0.11
7	28.2	416.36	115	43.58	840.00	1.1772	0.089	0.88	0.13	0.15
8	28.2	333.97	135	34.96	991.33	1.1772	0.089	0.71	0.13	0.18
9	28.2	329.83	155	34.52	1006.00	1.1772	0.089	0.70	0.12	0.18
10	28.2	298.18	175	31.21	1020.00	1.1772	0.089	0.63	0.11	0.18
11	28.2	278.75	195	29.18	1066.00	1.1772	0.089	0.59	0.11	0.18
12	28.2	221.57	215	23.19	1148.67	1.1772	0.089	0.47	0.09	0.19
13	28.2	192.91	235	20.19	1197.00	1.1772	0.089	0.41	0.08	0.20
14	28.2	146.65	255	15.35	1250.67	1.1772	0.089	0.31	0.06	0.21

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timban- gan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
15	28.2	120.78	275	12.64	1334.67	1.1772	0.089	0.26	0.06	0.22
16	28.2	104.76	295	10.96	1392.00	1.1772	0.089	0.22	0.05	0.23
17	28.2	87.07	315	9.11	1428.67	1.1772	0.089	0.18	0.04	0.23
18	28.2	52.07	335	5.45	1451.00	1.1772	0.089	0.11	0.03	0.23
19	28.2	46.34	355	4.85	1450.00	1.1772	0.089	0.10	0.02	0.23
20	28.2	23.66	375	2.48	1490.00	1.1772	0.089	0.05	0.01	0.23
21	28.2	0.00	395	0.00	1223.33	1.1772	0.089	0.00	0.00	0.17

Tabel A-3
Tanpa penghalang bilangan Reynolds 178000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	0	632.86	0	66.24	0.00	1.1772	0.089	1.09	0.00	0.00
2	0	626.90	15	65.62	160.00	1.1772	0.089	1.08	0.02	0.02
3	0	592.91	35	62.06	350.00	1.1772	0.089	1.02	0.04	0.04

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
4	0	555.20	55	58.11	450.00	1.1772	0.089	0.96	0.05	0.05
5	0	522.18	75	54.65	525.00	1.1772	0.089	0.90	0.06	0.06
6	0	509.67	95	53.35	600.00	1.1772	0.089	0.88	0.06	0.07
7	0	487.25	115	51.00	680.00	1.1772	0.089	0.84	0.07	0.08
8	0	479.37	135	50.17	750.00	1.1772	0.089	0.83	0.07	0.08
9	0	443.43	155	46.41	816.00	1.1772	0.089	0.77	0.07	0.09
10	0	412.91	175	43.22	900.00	1.1772	0.089	0.71	0.07	0.10
11	0	405.77	195	42.47	991.67	1.1772	0.089	0.70	0.08	0.11
12	0	354.57	215	37.11	1225.00	1.1772	0.089	0.61	0.09	0.14
13	0	329.16	235	34.45	1293.33	1.1772	0.089	0.57	0.08	0.15
14	0	253.45	255	26.53	1373.33	1.1772	0.089	0.44	0.07	0.15
15	0	213.88	275	22.39	1468.33	1.1772	0.089	0.37	0.06	0.16
16	0	173.35	295	18.14	1493.33	1.1772	0.089	0.30	0.05	0.17
17	0	144.34	315	15.11	1526.67	1.1772	0.089	0.25	0.04	0.17
18	0	126.74	335	13.27	1663.33	1.1772	0.089	0.22	0.04	0.18
19	0	113.89	355	11.92	1733.33	1.1772	0.089	0.20	0.04	0.19

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
20	0	83.59	375	8.75	1710.00	1.1772	0.089	0.14	0.03	0.18
21	0	46.35	395	4.85	1820.00	1.1772	0.089	0.08	0.02	0.20
22	0	0.00	415	0.00	1400.00	1.1772	0.089	0.00	0.00	0.14

Tabel B-1
 $y/D = 0,0$ bilangan Reynolds 97000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.20	356.40	0	37.30	0.00	1.18	0.09	1.13	0.00	0.00
2	28.20	353.10	15	36.96	190.00	1.18	0.09	1.12	0.09	0.08
3	28.20	326.67	20	34.19	250.00	1.18	0.09	1.04	0.11	0.10
4	28.20	290.91	25	30.45	310.00	1.18	0.09	0.92	0.12	0.13
5	28.20	273.92	35	28.67	360.00	1.18	0.09	0.87	0.13	0.15
6	28.20	249.27	45	26.09	426.00	1.18	0.09	0.79	0.14	0.17
7	28.20	231.73	55	24.25	473.00	1.18	0.09	0.73	0.14	0.19

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
8	28.20	210.80	65	22.06	500.00	1.18	0.09	0.67	0.13	0.20
9	28.20	176.40	75	18.46	544.67	1.18	0.09	0.56	0.12	0.21
10	28.20	155.07	85	16.23	555.33	1.18	0.09	0.49	0.10	0.21
11	28.20	95.98	95	10.05	588.33	1.18	0.09	0.30	0.07	0.22
12	28.20	60.41	105	6.32	613.33	1.18	0.09	0.19	0.04	0.23
13	28.20	45.77	115	4.79	644.67	1.18	0.09	0.15	0.03	0.24
14	28.20	38.59	125	4.04	661.33	1.18	0.09	0.12	0.03	0.24
15	28.20	30.08	135	3.15	675.67	1.18	0.09	0.10	0.02	0.24
16	28.20	0.00	145	0.00	377.00	1.18	0.09	0.00	0.00	0.11

Tabel B-2

y/D = 0,0 bilangan Reynolds 145000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.5	531.80	0	55.66	0.00	1.17735	0.089	1.13	0.00	0.00
2	28.5	523.67	15	54.81	75.00	1.17735	0.089	1.11	0.01	0.01

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
3	28.3	494.40	35	51.75	200.00	1.17805	0.089	1.05	0.03	0.03
4	28.3	473.93	55	49.61	300.00	1.17805	0.089	1.00	0.05	0.05
5	28.5	445.93	75	46.67	425.00	1.17735	0.089	0.94	0.07	0.07
6	28.3	423.67	95	44.34	513.33	1.17805	0.089	0.90	0.08	0.08
7	28.5	380.47	115	39.82	650.00	1.17735	0.089	0.81	0.09	0.11
8	28.3	350.60	135	36.70	750.00	1.17805	0.089	0.74	0.09	0.12
9	28.3	324.93	155	34.01	800.00	1.17805	0.089	0.69	0.09	0.13
10	28.3	298.87	175	31.28	856.00	1.17805	0.089	0.63	0.09	0.14
11	28.2	275.40	195	28.83	900.00	1.1784	0.089	0.58	0.08	0.14
12	28.2	249.93	215	26.16	950.00	1.1784	0.089	0.53	0.08	0.15
13	28.3	220.40	235	23.07	1000.00	1.17805	0.089	0.47	0.07	0.15
14	28.3	187.27	255	19.60	1070.00	1.17805	0.089	0.40	0.07	0.16
15	28.3	135.53	275	14.19	1100.00	1.17805	0.089	0.29	0.05	0.17
16	28.2	86.27	295	9.03	1176.67	1.1784	0.089	0.18	0.03	0.18
17	28.2	66.80	315	6.99	1230.00	1.1784	0.089	0.14	0.03	0.18
18	28.1	53.80	335	5.63	1250.00	1.17875	0.089	0.11	0.02	0.18

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
19	28.1	48.80	355	5.11	1211.67	1.17875	0.089	0.10	0.02	0.17
20	27.9	40.67	375	4.26	1270.00	1.17945	0.089	0.09	0.02	0.18
21	27.9	34.53	395	3.61	1300.00	1.17945	0.089	0.07	0.01	0.18
22	27.9	0.00	415	0.00	833.33	1.17945	0.089	0.00	0.00	0.08

Tabel B-3

y/D = 0,0 bilangan Reynolds 178000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	30.2	659.33	0	69.01	0.00	1.1714	0.09102	1.11	0.00	0.00
2	30.2	646.00	15	67.61	150.00	1.1714	0.09102	1.08	0.02	0.02
3	30.2	592.67	35	62.03	400.00	1.1714	0.09102	0.99	0.05	0.05
4	30.2	547.87	55	57.34	510.00	1.1714	0.09102	0.92	0.05	0.06
5	30.2	517.87	95	54.20	625.00	1.1714	0.09102	0.87	0.06	0.07
6	30.2	442.00	135	46.26	900.00	1.1714	0.09102	0.74	0.07	0.10

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
7	30.2	411.67	175	43.09	1050.00	1.1714	0.09102	0.69	0.08	0.11
8	30.2	368.20	215	38.54	1163.33	1.1714	0.09102	0.62	0.07	0.12
9	30.2	321.60	255	33.66	1250.00	1.1714	0.09102	0.54	0.07	0.12
10	30.2	264.27	295	27.66	1350.00	1.1714	0.09102	0.44	0.06	0.13
11	30.2	229.47	335	24.02	1425.00	1.1714	0.09102	0.39	0.05	0.14
12	30.2	196.07	375	20.52	1500.00	1.1714	0.09102	0.33	0.05	0.14
13	30.2	128.00	415	13.40	1581.67	1.1714	0.09102	0.21	0.03	0.15
14	30.2	103.00	455	10.78	1663.33	1.1714	0.09102	0.17	0.03	0.15
15	30.2	75.20	495	7.87	1706.67	1.1714	0.09102	0.13	0.02	0.15
16	30.2	62.60	535	6.55	1786.67	1.1714	0.09102	0.11	0.02	0.16
17	30.2	39.40	575	4.12	1793.33	1.1714	0.09102	0.07	0.01	0.15
18	30.2	0.00	615	0.00	1292.67	1.1714	0.09102	0.00	0.00	0.08

Tabel C-1

$y/D = 0,25$ bilangan Reynolds 97000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.20	338.67	0	35.45	0.00	1.18	0.09	1.07	0.00	0.00
2	28.20	329.15	15	34.45	100.00	1.18	0.09	1.04	0.04	0.04
3	28.20	317.49	25	33.23	200.00	1.18	0.09	1.01	0.08	0.08
4	28.20	305.48	35	31.97	250.00	1.18	0.09	0.97	0.09	0.10
5	28.20	284.17	45	29.74	300.00	1.18	0.09	0.90	0.10	0.12
6	28.20	271.44	55	28.41	350.00	1.18	0.09	0.86	0.11	0.13
7	28.20	261.07	65	27.33	380.00	1.18	0.09	0.83	0.12	0.14
8	28.20	246.27	75	25.78	425.00	1.18	0.09	0.78	0.12	0.16
9	28.20	233.66	85	24.46	455.00	1.18	0.09	0.74	0.12	0.17
10	28.20	222.67	95	23.31	500.00	1.18	0.09	0.71	0.13	0.18
11	28.20	212.30	105	22.22	550.00	1.18	0.09	0.67	0.14	0.20
12	28.20	182.20	115	19.07	575.00	1.18	0.09	0.58	0.12	0.21
13	28.20	136.53	125	14.29	600.00	1.18	0.09	0.43	0.09	0.22
14	28.20	108.92	135	11.40	600.00	1.18	0.09	0.35	0.07	0.21

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
15	28.20	79.71	145	8.34	625.00	1.18	0.09	0.25	0.05	0.22
16	28.20	66.00	155	6.91	635.00	1.18	0.09	0.21	0.05	0.22
17	28.20	55.16	165	5.77	661.67	1.18	0.09	0.17	0.04	0.22
18	28.20	47.73	175	5.00	683.33	1.18	0.09	0.15	0.03	0.23
19	28.20	39.27	185	4.11	700.00	1.18	0.09	0.12	0.03	0.23
20	28.20	28.57	195	2.99	713.33	1.18	0.09	0.09	0.02	0.23
21	28.20	24.32	205	2.55	715.00	1.18	0.09	0.08	0.02	0.23
22	28.20	19.61	215	2.05	708.33	1.18	0.09	0.06	0.01	0.22
23	28.20	0.00	225	0.00	450.00	1.18	0.09	0.00	0.00	0.10

Tabel C-2

y/D = 0,25 bilangan Reynolds 145000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.2	561.73	0	58.79	0.00	1.1784	0.089	1.19	0.00	0.00
2	28.2	538.27	15	56.34	150.00	1.1784	0.089	1.14	0.03	0.03
3	28.2	526.47	35	55.10	300.00	1.1784	0.089	1.11	0.06	0.05
4	28.2	510.30	55	53.41	408.33	1.1784	0.089	1.08	0.08	0.07
5	28.2	488.00	75	51.08	500.00	1.1784	0.089	1.03	0.09	0.09
6	28.2	461.67	95	48.32	600.00	1.1784	0.089	0.98	0.10	0.10
7	28.2	437.07	115	45.75	675.00	1.1784	0.089	0.93	0.10	0.11
8	28.2	401.47	135	42.02	800.00	1.1784	0.089	0.85	0.11	0.13
9	28.2	375.20	155	39.27	900.00	1.1784	0.089	0.79	0.12	0.15
10	28.2	345.73	175	36.19	1000.00	1.1784	0.089	0.73	0.12	0.17
11	28.2	326.00	195	34.12	1063.33	1.1784	0.089	0.69	0.12	0.18
12	28.2	308.07	215	32.24	1125.00	1.1784	0.089	0.65	0.12	0.18
13	28.2	283.13	235	29.63	1175.00	1.1784	0.089	0.60	0.11	0.19
14	28.2	258.67	255	27.07	1200.00	1.1784	0.089	0.55	0.10	0.19

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
15	28.2	226.67	275	23.72	1300.00	1.1784	0.089	0.48	0.10	0.21
16	28.2	154.20	295	16.14	1400.00	1.1784	0.089	0.33	0.07	0.22
17	28.2	128.07	315	13.40	1461.67	1.1784	0.089	0.27	0.06	0.23
18	28.2	98.39	335	10.30	1525.00	1.1784	0.089	0.21	0.05	0.24
19	28.2	71.60	355	7.49	1600.00	1.1784	0.089	0.15	0.04	0.25
20	28.2	54.07	375	5.66	1683.33	1.1784	0.089	0.11	0.03	0.26
21	28.2	39.33	395	4.12	1723.33	1.1784	0.089	0.08	0.02	0.27
22	28.2	29.33	415	3.07	1748.33	1.1784	0.089	0.06	0.02	0.27
23	28.2	22.33	435	2.34	1623.33	1.1784	0.089	0.05	0.01	0.24
24	28.2	0.00	455	0.00	1540.00	1.1784	0.089	0.00	0.00	0.22

Tabel C-3

y/D = 0,25 bilangan Reynolds 178000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.2	660.73	0	69.16	0.00	1.1784	0.089	1.07	0.00	0.00
2	28.2	656.27	15	68.69	160.00	1.1784	0.089	1.07	0.02	0.02
3	28.2	597.80	55	62.57	400.00	1.1784	0.089	0.97	0.04	0.04
4	28.2	550.73	95	57.64	650.00	1.1784	0.089	0.89	0.06	0.07
5	28.2	513.40	135	53.74	806.67	1.1784	0.089	0.83	0.07	0.08
6	28.2	476.13	175	49.84	950.00	1.1784	0.089	0.77	0.07	0.09
7	28.2	457.00	215	47.83	1050.00	1.1784	0.089	0.74	0.07	0.10
8	28.2	431.93	255	45.21	1170.00	1.1784	0.089	0.70	0.08	0.11
9	28.2	401.07	295	41.98	1300.00	1.1784	0.089	0.65	0.08	0.12
10	28.2	370.00	335	38.73	1450.00	1.1784	0.089	0.60	0.08	0.13
11	28.2	356.47	375	37.31	1525.00	1.1784	0.089	0.58	0.08	0.14
12	28.2	292.47	415	30.61	1683.33	1.1784	0.089	0.47	0.07	0.15
13	28.2	263.93	455	27.63	1800.00	1.1784	0.089	0.43	0.07	0.16
14	28.2	235.67	495	24.67	1886.67	1.1784	0.089	0.38	0.06	0.17

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
15	28.2	182.40	535	19.09	1923.33	1.1784	0.089	0.30	0.05	0.16
16	28.2	128.33	575	13.43	2033.33	1.1784	0.089	0.21	0.04	0.17
17	28.2	100.67	615	10.54	2130.00	1.1784	0.089	0.16	0.03	0.18
18	28.2	78.00	655	8.16	2200.00	1.1784	0.089	0.13	0.02	0.18
19	28.2	64.33	695	6.73	2246.67	1.1784	0.089	0.10	0.02	0.18
20	28.2	41.40	735	4.33	2323.33	1.1784	0.089	0.07	0.01	0.19
21	28.2	0.00	775	0.00	1940.00	1.1784	0.089	0.00	0.00	0.14

Tabel D-1

$y/D = 0,5$ bilangan Reynolds 97000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.2	384.20	0	40.21	0.00	1.1784	0.089	1.22	0.00	0.00
2	28.2	372.17	15	38.95	50.00	1.1784	0.089	1.18	0.02	0.02
3	28.2	358.42	25	37.51	167.33	1.1784	0.089	1.14	0.07	0.06

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
4	28.2	336.92	35	35.26	269.67	1.1784	0.089	1.07	0.11	0.11
5	28.2	289.91	45	30.34	377.00	1.1784	0.089	0.92	0.14	0.15
6	28.2	269.07	55	28.16	422.00	1.1784	0.089	0.85	0.14	0.17
7	28.2	249.48	65	26.11	501.33	1.1784	0.089	0.79	0.16	0.20
8	28.2	228.23	75	23.89	550.00	1.1784	0.089	0.72	0.16	0.22
9	28.2	194.13	85	20.32	566.67	1.1784	0.089	0.62	0.13	0.22
10	28.2	187.16	95	19.59	600.00	1.1784	0.089	0.59	0.14	0.23
11	28.2	178.63	105	18.70	601.33	1.1784	0.089	0.57	0.13	0.22
12	28.2	167.51	115	17.53	648.33	1.1784	0.089	0.53	0.13	0.24
13	28.2	147.25	125	15.41	629.33	1.1784	0.089	0.47	0.11	0.23
14	28.2	113.13	135	11.84	651.33	1.1784	0.089	0.36	0.08	0.23
15	28.2	94.20	145	9.86	668.00	1.1784	0.089	0.30	0.07	0.24
16	28.2	83.13	155	8.70	693.33	1.1784	0.089	0.26	0.06	0.24
17	28.2	80.22	165	8.40	753.33	1.1784	0.089	0.25	0.07	0.27
18	28.2	77.35	175	8.10	780.00	1.1784	0.089	0.25	0.07	0.27
19	28.2	71.13	185	7.45	800.00	1.1784	0.089	0.23	0.06	0.28

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
20	28.2	66.63	195	6.97	806.67	1.1784	0.089	0.21	0.06	0.28
21	28.2	63.66	205	6.66	806.67	1.1784	0.089	0.20	0.05	0.27
22	28.2	59.49	215	6.23	841.67	1.1784	0.089	0.19	0.05	0.28
23	28.2	56.52	225	5.92	856.67	1.1784	0.089	0.18	0.05	0.29
24	28.2	53.77	235	5.63	885.00	1.1784	0.089	0.17	0.05	0.29
25	28.2	44.87	245	4.70	881.67	1.1784	0.089	0.14	0.04	0.29
26	28.2	43.34	255	4.54	876.67	1.1784	0.089	0.14	0.04	0.28
27	28.2	42.01	265	4.40	935.00	1.1784	0.089	0.13	0.04	0.30
28	28.2	38.17	275	4.00	916.67	1.1784	0.089	0.12	0.04	0.29
29	28.2	30.35	285	3.18	933.33	1.1784	0.089	0.10	0.03	0.29
30	28.2	27.53	295	2.88	964.67	1.1784	0.089	0.09	0.03	0.30
31	28.2	24.66	305	2.58	985.00	1.1784	0.089	0.08	0.02	0.31
32	28.2	22.72	315	2.38	945.00	1.1784	0.089	0.07	0.02	0.29
33	28.2	20.31	325	2.13	965.00	1.1784	0.089	0.06	0.02	0.29
34	28.2	7.14	335	0.75	683.33	1.1784	0.089	0.02	0.00	0.16
35	28.2	0.00	345	0.00	50.00	1.1784	0.089	0.00	0.00	0.13

Tabel D-2

y/D = 0,5 bilangan Reynolds 145000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.2	623.53	0	65.26	0.00	1.1784	0.089	1.32	0.00	0.00
2	28.2	621.87	15	65.09	100.00	1.1784	0.089	1.32	0.02	0.02
3	28.2	574.55	35	60.14	350.67	1.1784	0.089	1.22	0.08	0.06
4	28.2	556.89	55	58.29	468.67	1.1784	0.089	1.18	0.10	0.08
5	28.2	529.96	75	55.47	551.33	1.1784	0.089	1.12	0.11	0.10
6	28.2	513.37	95	53.73	608.33	1.1784	0.089	1.09	0.11	0.10
7	28.2	498.05	115	52.13	700.00	1.1784	0.089	1.05	0.12	0.12
8	28.2	486.07	135	50.88	756.67	1.1784	0.089	1.03	0.13	0.13
9	28.2	466.03	155	48.78	800.00	1.1784	0.089	0.99	0.13	0.13
10	28.2	449.87	175	47.09	893.33	1.1784	0.089	0.95	0.14	0.15
11	28.2	430.93	195	45.10	965.00	1.1784	0.089	0.91	0.14	0.16
12	28.2	384.74	215	40.27	1108.33	1.1784	0.089	0.81	0.15	0.18
13	28.2	341.60	235	35.75	1253.33	1.1784	0.089	0.72	0.15	0.21
14	28.2	325.40	255	34.06	1303.33	1.1784	0.089	0.69	0.15	0.21

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
15	28.2	307.13	275	32.15	1325.00	1.1784	0.089	0.65	0.14	0.21
16	28.2	287.27	295	30.07	1438.33	1.1784	0.089	0.61	0.14	0.23
17	28.2	278.07	315	29.10	1571.67	1.1784	0.089	0.59	0.15	0.25
18	28.2	224.41	335	23.49	1453.33	1.1784	0.089	0.48	0.11	0.23
19	28.2	155.71	355	16.30	1520.00	1.1784	0.089	0.33	0.08	0.24
20	28.2	121.84	375	12.75	1563.33	1.1784	0.089	0.26	0.06	0.24
21	28.2	117.11	395	12.26	1600.00	1.1784	0.089	0.25	0.06	0.24
22	28.2	99.01	415	10.36	1623.33	1.1784	0.089	0.21	0.05	0.24
23	28.2	83.39	435	8.73	1683.33	1.1784	0.089	0.18	0.04	0.25
24	28.2	77.03	455	8.06	1733.33	1.1784	0.089	0.16	0.04	0.26
25	28.2	64.77	475	6.78	1746.67	1.1784	0.089	0.14	0.04	0.26
26	28.2	60.87	495	6.37	1773.33	1.1784	0.089	0.13	0.03	0.26
27	28.2	57.33	515	6.00	1806.67	1.1784	0.089	0.12	0.03	0.26
28	28.2	45.59	535	4.77	1850.00	1.1784	0.089	0.10	0.03	0.27
29	28.2	43.74	555	4.58	1926.67	1.1784	0.089	0.09	0.03	0.28
30	28.2	0.00	575	0.00	1603.33	1.1784	0.089	0.00	0.00	0.21

Tabel D-3

y/D = 0,5 bilangan Reynolds 178000

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
1	28.2	659.13	0	68.99	0.00	1.1616	0.089	1.14	0.00	0.00
2	28.2	655.13	15	68.57	60.00	1.1616	0.089	1.13	0.01	0.01
3	28.2	600.13	55	62.81	360.00	1.1616	0.089	1.04	0.04	0.04
4	28.2	566.20	95	59.26	510.00	1.1616	0.089	0.98	0.06	0.06
5	28.2	525.20	135	54.97	700.00	1.1616	0.089	0.91	0.07	0.08
6	28.2	483.60	175	50.62	850.00	1.1616	0.089	0.83	0.08	0.09
7	28.2	445.13	215	46.59	1000.00	1.1616	0.089	0.77	0.08	0.11
8	28.2	406.93	255	42.59	1163.33	1.1616	0.089	0.70	0.09	0.12
9	28.2	392.33	295	41.06	1250.00	1.1616	0.089	0.68	0.09	0.13
10	28.2	390.87	335	40.91	1300.00	1.1616	0.089	0.67	0.09	0.13
11	28.2	371.00	375	38.83	1400.00	1.1616	0.089	0.64	0.09	0.14
12	28.2	356.20	415	37.28	1495.00	1.1616	0.089	0.61	0.09	0.15
13	28.2	337.40	455	35.31	1600.00	1.1616	0.089	0.58	0.09	0.16
14	28.2	312.67	495	32.73	1721.67	1.1616	0.089	0.54	0.09	0.17

No	Temperatur (Celcius)	Putaran Rata Rata (RPM)	Massa Timbangan (gram)	Putaran Rata Rata (rad/s)	Spring Rata rata (gram)	Massa Jenis Fluida (Kg/m)	Luas (m)	TSR	COP	CM
15	28.2	289.67	535	30.32	1800.00	1.1616	0.089	0.50	0.09	0.17
16	28.2	251.13	575	26.29	1850.00	1.1616	0.089	0.43	0.08	0.17
17	28.2	228.40	615	23.91	1900.00	1.1616	0.089	0.39	0.07	0.18
18	28.2	184.07	655	19.27	1950.00	1.1616	0.089	0.32	0.06	0.18
19	28.2	153.13	695	16.03	1996.67	1.1616	0.089	0.26	0.05	0.18
20	28.2	89.80	735	9.40	1968.33	1.1616	0.089	0.15	0.03	0.17
21	28.2	48.60	775	5.09	1913.33	1.1616	0.089	0.08	0.01	0.16
22	28.2	0.00	815	0.00	1470.00	1.1616	0.089	0.00	0.00	0.09

Tabel E-1
Torsi Statis Tanpa penghalang

Bilangan Reynolds 97000											
Sudut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
0	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1,5
10	3	2	2	3	1	2	2	2	2	1	2

20	2	3	2	2	1	2	2	2	2	3	2,1
30	2,5	1,8	1,8	1,7	2,8	2,8	2,3	3,1	2,2	2,0	2,3
40	1,7	2,3	2,4	1,8	2,3	2,3	2	1,8	1,6	2	2,02
50	1,4	1,6	1,5	1,7	1,3	1,6	1,4	1,7	1,8	1,5	1,55
60	1,4	1,4	1,2	1,4	1,5	2,3	1,1	1,6	1,6	0,7	1,42
70	0,7	1,2	0,9	1,2	0,7	1,1	1,6	0,9	1,1	1,4	1,08
80	0,9	1	0,6	0,7	0,9	0,5	1,1	0,4	0,3	0,4	0,68
90	0,4	0,3	0,6	0,3	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,54
100	0	0,2	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,06
110	0,3	-0,2	-0,1	0,2	0,1	-0,2	0,3	0,1	0,1	-0,2	0,04
120	0	-0,2	-0,1	0,3	-0,2	0	-0,4	-0,2	0,1	-0,3	-0,1
130	0	0,1	-0,6	0	-0,2	-0,1	0	-0,4	-0,2	-0,2	-0,16
140	-0,8	-0,7	-0,6	-0,7	-1,2	-0,6	0,1	-0,5	-0,7	-0,7	-0,64
150	-0,6	-0,7	-0,1	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-1	-0,9	-1,1	-0,73
160	-1	-0,8	-1,4	-0,6	-1,2	-0,8	-0,9	-0,8	0,1	-0,4	-0,78
170	-0,6	0	0,7	0,1	0,8	0,3	0,1	-0,6	0,7	1,6	0,31
180	0,9	1,1	1,4	1,2	1,3	1,2	1,2	0,7	1,5	1	1,15

Tabel E-2
Torsi Statis Tanpa penghalang

Bilangan Reynolds 145000											
Sudut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
0	3	2	2	4	6	3	5	4	5	3	3,7
10	6	4	5	6	4	7	4	5	7	5	5,3
20	6	8	4	7	5	5	8	5	6	9	6,3
30	5,5	5,7	6,2	6,3	5,3	7,2	5,4	7,7	9,7	6,6	6,56
40	6,5	6,1	5,2	6,2	4,9	7	5,3	6,6	5,7	5,5	5,9
50	3,1	4,6	4,1	2,9	3,8	3,4	3,9	5	7,4	5,7	4,39
60	4,8	2,7	1,8	3,6	3,4	5,1	3	4,8	4,9	5,1	3,92
70	4,1	4,3	4,8	1,6	4,6	3	4,6	4,2	2,5	4,1	3,78
80	2,1	2,5	2,6	3,5	3,4	3	3,6	2,9	1,6	2,8	2,8
90	1,5	1,6	2	2,4	1,8	0,9	2,1	3,2	2	1,6	1,91
100	0,8	0,7	-0,4	1,2	-0,7	1,4	1,1	1,6	1,2	1,3	0,82
110	0	0,6	-1,2	0	0	0,4	0,5	0,8	1,2	1,1	0,34
120	0,1	1	1,1	0,4	-0,4	1,3	-1,2	-0,5	-0,6	-0,2	0,1

130	0,8	-0,2	-0,2	0	0,1	-2,2	-0,9	0,6	-0,4	-0,9	-0,33
140	-0,2	0,5	-1,2	-2	-0,4	0	-0,8	-2,1	0,4	-1,3	-0,71
150	-0,6	-1,6	-1,7	-1,8	-0,6	-1,6	-2,4	-0,4	-1,8	-3,6	-1,61
160	-1,4	-2	-2,1	-1,7	-2,5	0,5	-1,7	0	-0,7	-1,5	-1,31
170	0,7	-0,1	-0,5	0,3	-2,2	2,1	-0,1	0,5	2	0,6	0,33
180	4	4,1	3,3	3	3,5	3,2	3,2	5,2	3,5	3,5	3,65

Tabel E-3
Torsi Statis Tanpa penghalang

Bilangan Reynolds 178000											
Sudut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
0	3,9	3,5	3,5	4,9	2,6	3,4	2,5	2,6	3,2	2,1	3,22
10	7,6	6,7	7	6,3	7,2	6,5	7,4	7	7,7	6,8	7,02
20	7,2	7,9	8,1	7,6	8,2	7,1	7,4	7,6	7,5	7,7	7,63
30	7,7	7,9	7,2	8,1	8,6	7,5	7,4	8,8	7,6	8	7,88
40	7,2	8	7	6,9	6,5	6,2	8,5	7,7	6,8	7,6	7,24
50	6,8	7,1	7,4	7	7,8	5,9	5,8	5,2	7,5	6,5	6,7

60	5	5,6	4,1	6,3	5,4	5,8	5	8,2	7	5,9	5,83
70	4,4	6,2	3,7	4,1	5,6	5,2	4,2	4,1	3,6	4,8	4,59
80	3	3,2	3,6	3	4,1	3,9	4,4	3,2	4,8	3,5	3,67
90	2,9	2,6	2,6	2,7	3,1	3,3	2,7	4	3,2	3,5	3,06
100	1,5	1,5	2,6	1,5	1,9	1,9	2,2	2,4	1,9	2,9	2,03
110	1,8	1,1	1,9	2,1	2	1,1	1,3	1,5	1,6	1,4	1,58
120	0,9	0,5	0,5	1,6	1,4	0	1,1	1,5	1,4	0,4	0,93
130	0,9	1	1,2	-1,9	-1,1	0,3	0,6	0,3	-0,1	-1,1	0,01
140	-1	0,6	0,2	-3,2	-0,8	-2,2	-2,3	-0,9	-1,3	-1,3	-1,22
150	-3	-2,2	-1,6	-1,3	-2	-1,3	-2,2	-1,9	-2,7	-2,1	-2,03
160	-1,2	0,7	2,3	-1,6	-2,3	2,7	-2,1	2,3	-1	0	-0,02
170	4,6	3,8	-2	3,3	3,8	0,2	4,2	2,9	2,2	-2	2,1
180	4,1	4,5	5,2	5	2,5	-0,8	4,3	4,7	-1,2	5,1	3,34

Tabel F-1

Torsi statis dengan penghalang $y/D = 0,5$

Bilangan Reynolds 97000											
Sudut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
0	2	1,6	-1	-0,3	-1,6	-0,1	-0,9	0,1	0,4	-0,8	-0,06
10	1,7	2,9	2,5	2,6	0,8	1,8	-0,8	-3	-1,7	-2,4	0,44
20	0,9	1,5	1,4	1,4	1,5	0,8	-0,2	-0,3	1,6	0,9	0,95
30	1,9	2,7	2,5	3,6	2,1	2,2	2,6	2,0	1,6	2,4	2,36
40	2,5	3	2,5	1,5	2,4	2,4	2,4	2,6	2,4	3,5	2,52
50	2	1,9	3,6	2,2	2	1,9	2,6	1,6	2	0,9	2,07
60	1,7	2	1,4	1,1	1,9	1,3	1,6	1,9	1,4	2,2	1,65
70	1,5	1,3	1,6	1,1	0	1	1,4	1,5	1,1	1,5	1,2
80	1,2	0	1,3	1	1	1,3	0,8	1	1,1	0,8	0,911111
90	0,8	0,5	0,7	1,2	0,9	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,76
100	0,3	0,1	0,6	0,3	1,1	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5	0,49
110	-0,2	0,2	-0,3	0,5	0,2	0	0,4	0,2	0,4	0,4	0,18
120	0	0,3	-0,1	0	-0,3	0,2	0,1	-0,4	-0,1	-0,2	-0,05
130	-0,3	0,1	-0,3	0,1	-0,3	0,3	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,11

140	-0,2	0,3	0	-0,2	-0,3	0	-0,1	-0,4	-0,1	-0,4	-0,14
150	-0,3	-0,1	-0,4	0	0,3	0,1	0,2	-1,3	-0,4	0	-0,19
160	-0,1	-1,1	-0,4	0,1	0,4	-0,5	0	-0,7	-0,7	0,3	-0,27
170	0,3	0,5	0	-0,6	-0,8	-0,5	0,8	-0,3	-1,2	0,2	-0,16
180	0,8	0,8	-0,7	-1	-0,4	1	-1,2	0,6	-0,3	-0,1	-0,05

Tabel F-2

Torsi statis dengan penghalang $y/D = 0,5$

Bilangan Reynolds 145000											
Sudut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
0	-0,6	-1,7	1,5	2	2,5	1,8	2,6	-0,6	-0,3	-0,5	0,67
10	2,6	2,8	2,9	2,8	0	1,6	2	3	2,9	3,1	2,37
20	3,5	3,1	3,8	3,8	5,6	4,6	4,2	3,2	4,1	4,4	4,03
30	6,1	8,6	6,7	6,4	6,6	7,1	6,4	7,4	6,3	8,1	6,97
40	5,6	5,2	5,4	5,6	5	5,5	5,6	5,8	5	5,2	5,39
50	4,2	4,8	4	4,8	4,3	4,1	3,9	4	4,1	4	4,22
60	3,9	4,8	4	3,4	3,7	4,7	3,9	4	3	4,6	4

70	3,8	4	4	3,7	3,9	3,6	4	4,2	3,7	3,6	3,85
80	3,5	3,9	3,1	3,5	3,2	2,7	3,2	2,9	2,8	3	3,18
90	2,6	2,5	2,4	2,1	2,3	2,4	2,8	2,3	2,7	2,5	2,46
100	2,2	2	2	1,6	1,9	2,2	1,7	2	2	2,1	1,97
110	1,5	1,2	1,3	1,4	1,8	1,8	1,1	1,9	1,3	1,2	1,45
120	1,3	0,8	0,6	1	1	1,3	0,6	0,7	0,8	0,8	0,89
130	0,4	0,7	0,8	0,6	0,8	0,4	-0,7	-0,3	-1,3	-0,5	0,09
140	1,9	1,5	0,5	1,1	-1,2	-0,6	0,1	-0,6	-0,9	-1,9	-0,01
150	-1,8	0,9	-1,4	0,7	1,4	-1,8	0,8	-0,5	-1,1	1	-0,18
160	-0,7	-1,8	0,6	-0,4	-2,2	0	-1,3	3,2	0	-1,2	-0,38
170	-0,4	1,2	-0,2	0,6	0	2	0	0,5	-0,7	-1,1	0,19
180	-0,3	1,5	1,7	-0,5	-1,5	0,4	-1,5	3,3	-0,8	2,9	0,52

Tabel F-3

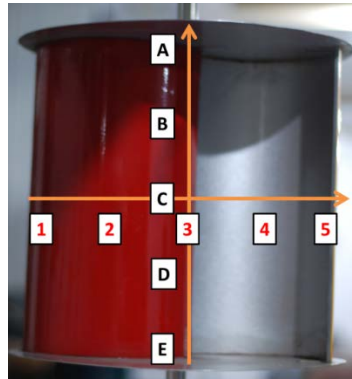
Torsi statis dengan penghalang $y/D = 0,5$

Bilangan Reynolds 178000											
Sudut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
0	-1,1	-0,9	2,2	2,4	-0,7	1,8	-0,3	2,5	-0,1	2,4	0,82
10	5,2	1	2,3	2,7	3,6	3	3,3	3	2,8	3,3	3,02
20	5,2	4,3	4,3	4,7	4,2	6	4,8	5,5	5,8	5,1	4,99
30	8,1	7,9	8,2	8	8,2	8	8,8	8,3	8,8	8	8,23
40	7,1	8	6,2	6,7	6,6	6,5	6,7	6,6	6,9	6,4	6,77
50	5,8	6,6	4,3	6,2	6,5	6,4	6,4	6,2	4,8	6	5,92
60	5,8	4,8	4,9	5	5	6,4	4,7	4,8	5,3	5	5,17
70	4,6	5	5,5	4,4	4,7	4,6	4,8	4,3	5,2	4,6	4,77
80	4,1	4,4	4	4,5	4,1	4,9	3,9	4,4	4,6	4,2	4,31
90	3,8	3,5	3,7	3,3	4,3	4,5	3,1	3,7	4,1	3,6	3,76
100	3,3	2,8	2,8	2,9	2,6	3,2	2,8	3	2,8	3	2,92
110	2,1	2	2	2,1	2,4	2,5	2,5	2,2	2,1	2,2	2,21
120	2	1,7	1,5	1,2	2	1,7	1,6	1,4	1,4	1,4	1,59

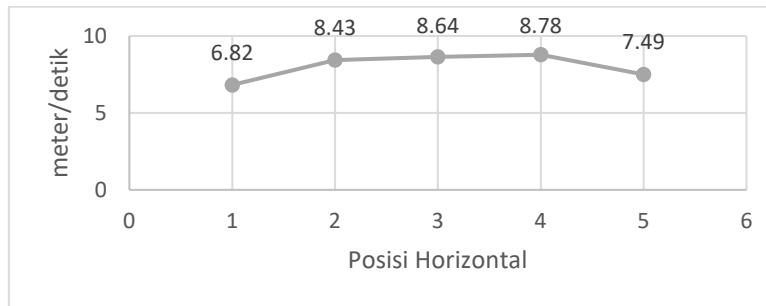
130	1,3	0,8	1,4	-1,1	1,3	1,2	1	0,8	-0,4	-1,2	0,51
140	-0,2	-0,8	3	-1,1	0,5	-0,5	0,9	0,7	-0,2	0	0,23
150	-1,8	2,2	0,1	-0,1	-3,6	-0,5	-1,5	1,6	-1,5	1,6	-0,35
160	0,8	1,9	-1,2	-3,3	-2,5	0	0,2	0,6	-2	-0,7	-0,62
170	1,7	1,9	0,3	2	-1,7	-0,2	-0,1	-1,7	-0,8	-0,7	0,07
180	3,1	-2,4	-0,9	3	-1,7	3,7	-0,4	-2	4,1	3	0,95

G.Uniformity test

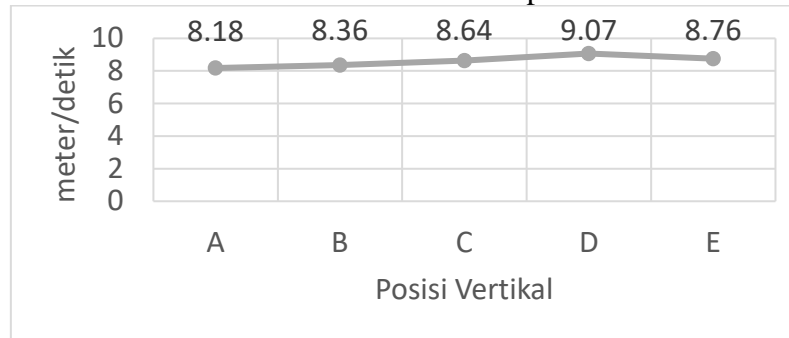
Test uniformity dilakukan dengan mengukur kecepatan angin di beberapa tempat antara turbin angin dan honeycomb untuk menentukan dimana letak angin yang uniform.



Gambar G.1 Lokasi Pengukuran



Gambar G.2 Grafik distribusi Kecepatan Horizontal



Gambar G.3 Grafik distribusi kecepatan Vertikal

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Denpasar, Bali pada 26 April 1996. Merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Sejak lahir hingga menyentuh umur 18 tahun, penulis tinggal dan mengenyam pendidikan di Kota Jakarta. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SDN 05 Kebayoran Baru, SMPN 13 Jakarta, dan SMAN 06 Jakarta. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan di tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui

jalur SBMPTN Tulis (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Penulis aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan dan *event* yaitu sebagai Staff Divisi Event di Indocor periode 2015-2016, Staff Divisi Kewirausahaan di DIMENSI periode 2015-2016, dan Staff Divisi Publikasi Mechanical City pada tahun 2015. Pada tahun ketiga, penulis masih aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan dan *event* yaitu sebagai Kabiro Komunikasi di Himpunana Mahasiswa Mesin periode 2016-2017, Kepala Divisi Eksternal DIMENSI periode 2016-2017, dan Ketua Divisi Desain Kreatif Mechanical City pada tahun 2017. Prestasi yang pernah diraih penulis selama masa kuliah yaitu sebagai Finalis Meenology dalam Lomba Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa Nasional dengan Topik Inovasi Teknologi Terbaru untuk Indonesia. Penulis juga berkesempatan untuk melakukan kerja praktik di PT. Garuda Indonesia Maintenance selama satu bulan dan bersyukur atas pengalaman dan ilmu yang diperoleh. Penulis dapat dihubungi melalui email zulhanammar@gmail.com.